1933 № 10

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК
СОЮЗА СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

VII СЕРИЯ

ОТДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
DE L'UNION DES RÉPUBLIQUES SOVIÉTIQUES SOCIALISTES

VII SÉRIE

CLASSE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET NATURELLES

ЛЕНИНГРАД — LENINGRAD
ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

ПРИМЕР СТАНДАРТНОЙ ЦИТАТЫ · EXEMPLE DE CITATION
Ю. А. Крутков. О броуновском движении. ИМЕН, 1933, № 10, стр. 1419.
G. Krutkov. Sur le mouvement brownien. BAS-MN, 1933, № 10, p. 1419 (en russe).

Напечатано по распоряжению Академии Наук СССР

Февраль 1934 г.

Непременный секретарь академик *В. Волгин*

Редакционная коллегия: академик А. А. Борисяк
академик А. А. Рихтер
академик Д. С. Рождественский

Ответственный редактор издания академик-секретарь ОМЕН А. А. Борисяк

Технический редактор Л. А. Федоров
Ученый корректор С. С. Чернявский

Начато набором в январе 1933 г. — Подписано к печати 17 февраля 1934 г.

157 (1391—1547) стр. (33 фиг.) + 3 табл.
Формат бум. 72 × 110 см. — 10⁴/₈ печ. л. — 42 000 тип. зн. в печ. л. — Тираж 2500
Ленгорлит № 25.588. — АНИ № 8. — Заказ № 2237

Типография Академии Наук СССР. В. О., 9 линия, 12

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1933
BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS
Classe des sciences mathématiques et naturelles
Отделение математических и естественных наук

О „ФИЗИЧЕСКОМ" ДЕЙСТВИИ НА РАССТОЯНИИ[1]

В. Ф. МИТКЕВИЧА

1. История науки изобилует примерами преходящих стадий в понимании явлений окружающего нас мира. Непрерывно, в процессе накопления новых фактов и длительной работы научной мысли, наши представления подвергались метаморфозе, последовательно освобождаясь от всего, не выдерживающего строгой критики, и постепенно раффинируясь в смысле возможно большего приближения к соответствию с тем, что происходит в действительности. Так, птоломеева система мира уступила место системе гелиоцентрической. Учение древних философов о четырех основных началах-стихиях: воздухе, воде, земле и огне — прошло путь долгой эволюции. В связи с этим можно, между прочим, помянуть многочисленные, упорные искания алхимиков, приведшие к накоплению ряда новых конкретных данных о веществе, и мучительные блуждания человеческой мысли, стремившейся постигнуть энергетическую сторону явлений природы и делавшей на этом пути не мало ложных шагов вроде, например, увлечения теорией флогистона. Наконец, благодаря развитию химии и физики, древнее, кажущееся теперь наивным, учение о четырех основных началах трансформировалось в наши современные знания о строении вещества и его превращениях, связанных с энергетическими процессами, вообще, и тепловыми, в частности. Представление об атоме как о последней неделимой частице вещества, благодаря ряду великих открытий, имевших место в самое последнее время, заменилось картиной целого микрокосмоса, сложное строение и законы которого теперь так напряженно изучаются во всем мире. Физическая реальность, называемая электрическим зарядом, понимается в наши дни несколько иначе, чем 100 лет тому назад. Даже за последние 10 лет произошли несомненные сдвиги в этом отношении.

[1] Доложено в Общем собрании АН 4 октября 1933 г.

Магнитная масса, считавшаяся некогда подлинною физическою реальностью, в настоящее время рассматривается лишь как некоторая фикция, имеющая чисто вспомогательный характер при математическом изучении свойств магнитного поля.

Во всяком случае несомненно, что и наши современные физические представления в ближайшем будущем претерпят некоторые изменения как в отношении формы, так и в отношении содержания, асимптотически приближаясь к пределу, по вопросу о достижимости которого могут быть разные мнения.

2. В своей речи «Основные воззрения современной физики», читанной в годовом собрании Академии Наук СССР 2 февраля 1933 г.,[1] я коснулся господствующего в настоящее время представления о действии на расстоянии, рассматриваемом в качестве первичного физического явления и в этом смысле названного мною «физическим» действием на расстоянии.

Я утверждаю, что это представление не соответствует природе вещей, не выдерживает строгой критики и потому является преходящей стадией в наших общих физических воззрениях. Имея характер математической абстракции, ценной лишь в области формальной трактовки физических процессов, представление о действии на расстоянии не может служить базой при рассмотрении существа явлений, происходящих в реальной обстановке.

Два мотива руководили мною, когда я счел необходимым еще раз выступить по данному поводу и сделать некоторые дополнения к тому, что было уже сказано в моей речи.

Первый основной мотив заключается в том, что признание возможности «физического» действия на расстоянии приводит к целому ряду весьма существенных выводов, с которыми, по моему мнению, никак нельзя примириться. В своей речи я уже отметил некоторые явные недоразумения, возникающие на почве отрицания фарадее-максвелловского представления о непременном участии среды во всех физических взаимодействиях. Между прочим, я указал в виде примера, что современная электронная теория, четко отмежевывающаяся от основной фарадее-максвелловской установки, оказывается вследствие этого бессильною объяснить самый простой и принципиально самый важный случай электрического тока, именно случай тока в сверхпроводящей цепи. Так или иначе, но наши основные физические воззрения должны быть достаточно

[1] См. Отчет Академии Наук СССР за 1932 г. и сборник «Карлу Марксу Академия Наук СССР», Л. 1933, стр. 221.

тщательно проанализированы в отношении их вероятного приближения к сущности явлений природы. Блуждание физической мысли в принципиальном вопросе, касающемся общей обстановки всякого взаимодействия, совершенно не соответствует задачам науки.

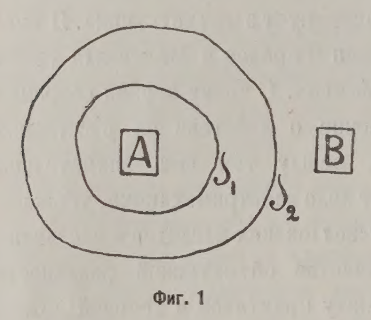
Второй мотив настоящего моего выступления состоит в следующем. Работая в области физических основ электротехники, являющейся не чем иным, как одним из отделов прикладной физики, я особенно остро ощущаю разрыв между принципиальными установками современной физики и теми физическими представлениями, которыми оперирует электротехника. Я имею в виду, главным образом, созданное трудами Фарадея и Максвелла учение о магнитном потоке и его физических свойствах. С точки зрения современной физики, культивирующей представление о действии на расстоянии, магнитный поток есть чистая фикция, между тем как внимательное рассмотрение процессов, с которыми имеет дело электромеханика, убеждает нас в справедливости общих Фарадее-максвелловских взглядов и заставляет нас трактовать магнитный поток в качестве объективной реальности. Я полагаю, что подобное разногласие между практикой и теорией должно быть подвергнуто критическому рассмотрению и изжито. По существу, его не должно быть. Устранение его не только может быть полезно как для практики, так и для теории, но и безусловно необходимо.

3. Было бы в высокой степени ошибочно усматривать в качестве мотива моей борьбы в защиту Фарадее-максвелловской принципиальной установки и против точки зрения «физического» действия на расстоянии — какое-либо стремление вернуть науку вспять к эпохе Фарадея.

Когда мы идем в направлении некоторой определенной цели и при этом вместо того, чтобы продвигаться по открывающемуся перед нами кратчайшему пути, как-либо сбиваемся с данного правильного пути и попадаем на извилистые окольные дороги, есть полное основание обратить на это внимание. Хотя бы даже окольные дороги и позволяли нам, несмотря на ряд встречающихся тупиков, в общем приближаться к цели, рационально как можно скорее выбраться на правильный путь. Для этого, вообще говоря, нет никакой надобности обязательно возвращаться вспять к исходной точке. Достаточно только постараться возможно более прямым рейсом перейти на правильный путь. В таком случае мы сохраним полностью все преимущества достигнутого уже приближения к цели и более уверенно пойдем дальше вперед.

Точно также дело обстоит и в отношении пропагандируемого мною возвращения на путь, указываемый нам основными установками Фарадея

и Максвелла. Для этого вовсе не требуется забыть все, что дала физическая наука за последние десятилетия и вернуться к какой-либо стадии наших знаний, соответствующей пережитым уже эпохам. Мы можем и, по моему мнению, должны, сохраняя все преимущества современного приближения к конечной цели — возможно большему познанию природы, осветить научные достижения наших дней с точки зрения Фарадея и Максвелла. Это даст только новую пищу физической мысли, откроет новые горизонты и позволит еще более быстрым темпом и более уверенно двигаться дальше в направлении стоящей перед нами цели.



Фиг. 1

4. Я стремился в своей речи возможно отчетливее вскрыть физическую непримиримость точек зрения фарадее-максвелловской и действия на расстоянии. С этою целью я сформулировал вопрос, который в наиболее общем виде сводится к следующему. Представим себе две взаимодействующие системы A и B (фиг. 1), расположенные на каком угодно расстоянии одна от другой (сколь угодно малом или сколь угодно большом). Это могут быть две материальные массы, тяготеющие одна к другой, два электрические заряда, два магнита или электромагнита, две какие-либо электрические цепи, по которым протекают токи и т. п. Допустим далее, что система A окружена со всех сторон двумя замкнутыми поверхностями S_1 и S_2, нигде не касающимися между собою и не пересекающимися. Спрашивается:

Могут ли системы A и B взаимодействовать одна с другою так, чтобы при этом в слое, ограниченном поверхностями S_1 и S_2, не происходило какого бы то ни было физического процесса?

5. Я полагаю, что всякий исследователь, стремящийся вникнуть в сущность физических явлений, и может, и должен дать на этот вопрос вполне определенный ответ: «да» или «нет». Совершенно невозможно допустить мыслимость некоторого третьего ответа. Не может быть также и речи о каком-либо синтезе этих принципиально противоположных и исключающих друг друга ответов «да» и «нет», так как нельзя представить себе построение такой физической теории, согласно которой в слое между поверхностями S_1 и S_2 в одно и то же время и происходил бы некоторый физический процесс, и решительно ничего не происходило бы. Опыт, к сожалению, показывает, что обычно довольно затруднительно получить со стороны лиц, привыкших к современным физическим представлениям,

определенный ответ на поставленный мною вопрос. Чрезвычайно редко можно услышать ответ «нет». В огромном большинстве случаев никакого определенного ответа не дается, а вместо этого иногда делаются попытки возражать против правильности и законности постановки сформулированного мною вопроса. Однако, возражения этого рода нетрудно опровергнуть.

Действительно, как бы мы ни смотрели на сущность происходящих в природе процессов, все мы принимаем за нечто безусловно достоверное тот факт, что системы A и B могут как-то физически взаимодействовать. Нельзя, далее, представить себе какие-либо доводы против утверждения, что в слое, ограниченном поверхностями S_1 и S_2 (фиг. 1), либо может, вообще говоря, происходить какой бы то ни было физический процесс, либо он может совершенно отсутствовать. Что-либо третье, кроме этих двух возможностей, не мыслимо, как я уже указывал выше. В связи с этим мы имеем полное право сопоставлять факт взаимодействия систем A и B с вероятностью наличия или с вероятностью отсутствия какого бы то ни было физического процесса в слое между поверхностями S_1 и S_2 и иметь по этому поводу суждение. Таким образом, сформулированный мною вопрос, побуждающий нас взвесить вероятность того или другого, необходимо признать вполне допустимым, правильным и законным.

Речь могла бы итти только о том, что желательно изыскать пример, более выпукло иллюстрирующий антагонизм между двумя рассматриваемыми принципиальными точками зрения, чем это сделал я. Feci quod potui, faciant meliora potentes. Если это кому-либо удастся, могу только приветствовать.

6. С фарадее-максвелловской точки зрения, которая представляется мне единственно приемлемой, на сформулированный мною вопрос необходимо ответить «нет».

Ответ «да» логически вытекает из точки зрения действия на расстоянии, которой придерживается физика наших дней.

Всякое уклонение от прямого ответа на поставленный мною вопрос, всякие оговорки или имеющие характер таковых оговорок рассуждения клонятся обычно к оправданию ответа «да».

7. Обращаясь к внутреннему содержанию ответов «нет» и «да» на мой вопрос, необходимо прежде всего иметь в виду, что свойства, обнаруживаемые в каком бы то ни было физическом явлении, мыслимы только в непосредственной связи с каким-то носителем этих свойств, т. е. в связи с некоторою объективною реальностью, которую можно назвать физическою реальностью. Далее, всякая физическая реальность или сколь угодно

малая часть ее обязательно занимает соответствующий ей объем нашего трехмерного пространства.[1] Наконец, мы никак не можем представить себе пространственной разобщенности самой физической реальности и ее характерных свойств. Нельзя допустить, чтобы физическая реальность была расположена в одном месте, а ее свойства сами по себе, в оторванном виде, локализировались бы где-либо в другом месте. И то, и другое мы должны мыслить объединенным в одном и том же объеме.

Рассмотрим теперь систему А, наличие которой обусловливает возникновение некоторого физического действия на другую систему В, расположенную, вообще говоря, где угодно, на каком угодно расстоянии от системы А. Конкретно мы можем мыслить, например, о двух электрических зарядах. При отсутствии заряда А заряд В данного физического действия не испытывает. В связи с этим мы можем утверждать, что в каждой точке пространства вокруг электрического заряда А обнаруживаются какие-то физические свойства, именно способность действовать на заряд В.

По поводу рассматриваемых свойств могут быть сделаны два предположения:

Предположение первое. Эти характерные свойства возникают в некотором отдельном участке пространства только вследствие появления там заряда В.

Предположение второе. Эти свойства, определяемые наличием заряда А, как-то были уже распределены во всем окружающем заряд А пространстве совершенно независимо от появления заряда В, роль которого в таком случае сводится лишь к обнаружению данных свойств.

Первое предположение представляется в высокой степени неправдоподобным и противоречащим всей совокупности того, что мы знаем о силовом поле. В этом отношении можно, например, указать на следующее. В любой точке пространства, окружающего заряд А, свойство воздействовать на заряд В возникает лишь через некоторый промежуток времени, считая от момента появления заряда А, т. е. с каким-то запозданием. Однако, в случае предварительного установления силового поля заряда А, данное свойство поля мгновенно обнаруживается при внесении в него заряда В. На основании этого мы заключаем, что рассматриваемое свойство было приобретено всеми участками пространства, занятого силовым полем, благодаря какому-то подготовительному процессу еще до внесения заряда В.

[1] См. упомянутую выше речь — «Основные воззрения современной физики».

Остается, следовательно, только второе предположение, а именно, что специфические свойства пространства, как-то закономерно ориентированные около центра, в котором расположен заряд A, имеют место независимо от наличия заряда B. Достойно особого внимания то обстоятельство, что даже современная математическая теория силового поля, по существу, базируется на этом последнем предположении.

Принимая во внимание сказанное раньше о непосредственной связи свойств с их носителем, необходимо признать, что те или иные характерные свойства данного силового поля присущи какому-то реальному носителю этих свойств, т. е. физической реальности или, выражаясь обычным языком, некоторой среде, находящейся в пространстве именно там, где обнаруживается силовое поле, т. е. везде, где есть это поле.

Таким образом, мы имеем логические обоснования принципиальной фарадее-максвелловской установки, согласно которой все физические взаимодействия совершаются не иначе, как при непременном участии среды, окружающей взаимодействующие центры. Отсюда же совершенно естественно вытекает и ответ «нет» на сформулированный мною вопрос.

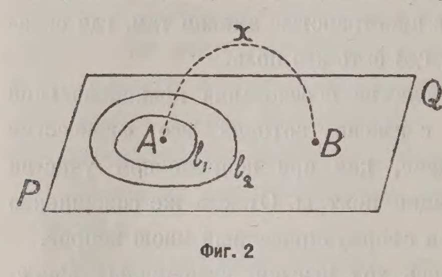
Считаю долгом указать, что весь ход мыслей, изложенных выше, целиком позаимствован мною у Фарадея и, по существу, почти ничего нового я не добавил.[1]

8. Противоположная точка зрения, признающая возможность «физического» действия на расстоянии и в связи с этим приводящая к ответу «да» на мой вопрос, отвергает все вышеприведенные обоснования фарадее-максвелловской установки и допускает реальное существование абсолютно пустого пространства, решительно ничем не заполненного. Последнее допущение является главным моментом во всех рассуждениях с точки зрения действия на расстоянии, тогда как идея о пространстве абсолютно пустом, самом по себе, без заполняющей его какой-либо материи, в самом широком смысле этого слова, есть лишь один из примеров математической абстракции и не имеет, по моему мнению, прямого отношения к реальному миру физических явлений. Об этом я уже говорил в своей речи. Итак, первый, основной упрек по адресу точки зрения действия на расстоянии состоит в том, что она вводит в круг физического мышления чистую фикцию — абсолютно пустое пространство.

Допустим, однако, на время, что абсолютно пустое пространство может реально существовать и что оно разделяет две взаимодействующие

[1] См., например, Faraday, Experimental Researches in Electricity, vol. III, pp. 571, 572.

системы A и B (фиг. 1), занимая весь объем слоя между поверхностями S_1 и S_2. Ясно, что в таком случае данный слой не содержит в себе никакой физической реальности и поэтому мы должны считать его совершенно непроницаемым для какого бы то ни было физического процесса, способного осуществлять связь между взаимодействующими системами A и B в пределах нашего трехмерного пространства. Иными словами, при данных условиях мы не можем мыслить какой-либо проходящей через этот слой линии физической связи между системами A и B. Если системы все же взаимодействуют, т. е. если между ними все-таки существует некоторая связь, то очевидно, что она должна осуществляться как-то помимо замкнутого слоя, ограниченного поверхностями S_1 и S_2. Но это значит, что линия связи между A и B выходит из пределов трехмерного пространства и пролегает где-то в пространстве с большим, чем три, числом измерений, например, в четырехмерном пространстве.



Фиг. 2

Для пояснения сказанного я воспользуюсь аналогией, прибегнув к пространствам с пониженным числом измерений. Рассмотрим какое-нибудь двухмерное пространство, скажем поверхность PQ (фиг. 2). Пусть точки A и B символизируют наши взаимодействующие системы. Окружим, далее, точку A двумя замкнутыми кривыми l_1 и l_2, лежащими на поверхности PQ, нигде не касающимися одна другой и не пересекающимися. В таком случае, всякая линия геометрической связи между точками A и B, лежащая в пределах двухмерного пространства PQ, обязательно должна пройти через зону, ограниченную линиями l_1 и l_2. Но если эта зона запрещена для геометрической связи между точками A и B, то искомая связь может быть осуществлена только помимо запрещенной зоны, а именно при помощи какой-либо линии x, соединяющей точки A и B вне рассматриваемого двухмерного пространства PQ, т. е. через трехмерное пространство, как это показано на фиг. 2 пунктирной линией.

Совершенно аналогичным образом и в случае взаимодействия систем A и B (фиг. 1), если слой между поверхностями S_1 и S_2 запрещен для какой-либо физической связи данных систем, а эту физическую связь мы всегда ассоциируем с линией геометрической связи между ними, — то эту последнюю мы вынуждены искать за пределами нашего трехмерного пространства, именно в четырехмерном пространстве.

Защитники точки зрения действия на расстоянии могут, конечно, мне указать, что связь физического взаимодействия систем A и B не нужно обязательно ассоциировать с какой-либо линией геометрической связи между ними и что вовсе не нужно так примитивно рассуждать. На это я возражу следующим образом. Какая бы то ни было связь между системами A и B не может иметь места в условиях абсолютной изолированности этих систем. Благодаря наличию запрещенного слоя между поверхностями S_1 и S_2, который совершенно разделяет наше трехмерное пространство на две разобщенные части, системы A и B оказываются принадлежащими к двум абсолютно изолированным одна от другой областям трехмерного пространства. Для того, чтобы эти системы все же могли быть связаны взаимодействием, они так или иначе должны быть объединены в одной и той же пространственной непрерывности. Формально можно допустить, что две отдельные трехмерные пространственные непрерывности охватываются одною общей четырехмерной пространственной непрерывностью, т. е. четырехмерным пространством. Это именно и констатируется возможностью построения линии геометрической связи между системами A и B сквозь незапрещенное четырехмерное пространство.

9. До настоящего времени физика не занималась явлениями, происходящими в четырехмерном пространстве, вне нашего трехмерного пространства. Все это увело бы нас в совершенно чуждую область. Герц, за которым нельзя не признать глубокого проникновения в сущность явлений природы, в своей гейдельбергской речи на тему «О соотношениях между светом и электричеством», касаясь попыток физического объяснения электрических явлений при помощи действия на расстоянии, указал, что таким путем мы привносим в науку элементы чего-то, имеющего спиритический характер.

Действительно, как известно, многие теоретики спиритизма и, между ними, некоторые выдающиеся ученые, привыкшие верить в существование спиритических явлений и пытавшиеся научно обосновать свое отношение к ним, обычно базировали свои суждения именно на допущении физической связи между явлениями, протекающими в нашем трехмерном пространстве и в охватывающем его четырехмерном пространстве. Однако, самая реальность спиритических явлений представляется более, чем сомнительной. Об этом, между прочим, с полною достоверностью свидетельствуют результаты работ ряда специальных комиссий Лондонского общества для психических исследований, а также многочисленные труды одного из наиболее деятельных и объективных членов этого общества Франка Подмора.

Совершенно несомненно, что спиритические явления вполне объясняются сознательным, а иногда даже подсознательным, введением участников сеансов в заблуждение, и все это обычно в высокой степени осложняется наличием массового гипноза или самогипноза. Одним словом, четырехмерное пространство тут совсем не при чем. Дело обстоит гораздо проще и нет решительно никаких оснований привлекать к ответственности четырехмерное пространство. Тем меньше оснований прибегать к четырехмерному пространству в случае рассмотрения вопроса о природе физических явлений.

10. Сказанное выше нисколько не противоречит закономерности и целесообразности использования идеи о многомерных пространствах в процессе математических операций, к которым иногда весьма полезно и даже необходимо прибегать в некоторых специальных отделах современной теоретической физики. В области высшего анализа не может быть никаких ограничений для формально правильного развития математических представлений. Но в области нашего физического мышления, в особенности при рассмотрении вопроса о вероятной природе физических явлений, несомненно приходится считаться с некоторыми ограничениями, вытекающими из наших общих принципиальных установок, и не выходить за пределы нашей нормальной пространственно-временной непрерывности, в которой эти явления имеют место.

11. Некоторые защитники точки зрения «физического» действия на расстоянии утверждают, что возражения против этого воззрения проистекают, главным образом, вследствие неспособности отдельных лиц, занимающихся вопросами физики, несколько подняться выше элементарных представлений, между тем как все дело в привычке. Указывается, что нам остается лишь преклониться перед фактом действия на расстоянии и, просто напросто, к этому факту привыкнуть. Тот, кто к этому факту привык, будто бы не испытывает ни малейшего затруднения от того, что с этим фактом ему приходится оперировать.[1]

Я совершенно согласен с тем, что ко многому можно привыкнуть, в особенности, добавлю от себя, если при этом мы не контролируем образующихся привычек и к тому же не сопротивляемся влиянию самогипноза или массового гипноза, наличие которого во многих случаях можно констатировать. Не чем иным, а именно слепым подчинением привычному методу мышления, в значительной степени объясняется и необычайная в свое время стойкость некоторых отживших уже научных теорий и воззрений.

[1] См., например, стенограмму третьей беседы о природе электрического тока, выступление Я. И. Френкеля. Электричество, 1930, № 10, стр. 428.

Напомним, хотя бы, о птоломеевой системе мира, о невесомых жидкостях, о теории флогистона. Замечательно при этом, что несмотря на несомненную ошибочность некоторых научных воззрений старого времени они иногда позволяли все же неуклонно итти вперед по пути прогресса. Например, Сади Карно, считая теплоту за неразрушимый агент, что, как мы знаем теперь, не соответствует действительности, пришел к верному результату при рассмотрении вопроса о совершении работы паровой машиной. И в наше время, конечно, вполне возможны аналогичные случаи. Но это не мотив для защиты некоторых привычных научных представлений, в частности, — представления о «физическом» действии на расстоянии.

Во всяком случае, я не отрицаю весьма важного значения привычек в нашем научном мышлении, но ставлю вопрос, не представляется ли целесообразным внимательно проанализировать их и начать совместную борьбу против нерациональных привычек.

12. Итак, на основании всего изложенного выше, я утверждаю, что господствующее теперь в науке привычное представление о действии на расстоянии, являясь по существу лишь математической абстракцией, иногда полезной и ценной, не должно быть объективируемо в качестве первичного физического явления, т. е. не должно трактоваться в качестве «физического» действия на расстоянии, так как это никоим образом не может соответствовать тому, что происходит в действительности.

Несмотря на, казалось бы, полную очевидность псевдо-физического характера идеи о действии на расстоянии, она продолжает играть роль привычного основного фона современной физической мысли и накладывает на нее своеобразный отпечаток.

Все мои принципиальные физические установки прямо или косвенно, явно или неявно вытекают из категорического отрицания допустимости «физического» действия на расстоянии. Должен признаться, однако, что в этом отношении у меня пока имеются, к сожалению, более или менее серьезные расхождения со многими моими коллегами по Академии Наук, в том числе, например, с академиками А. Ф. Иоффе, С. И. Вавиловым, с членами-корреспондентами Академии — Я. Н. Шпильрейном, Я. И. Френкелем, И. Е. Таммом и Г. А. Гамовым. Степень указанного расхождения варьирует в очень широких пределах, от некоторого лишь различия в четкости основных установок до полной противоположности.

Едва ли может быть сомнение в том, что необходимо, наконец, подвергнуть тщательному обсуждению важнейший принципиальный вопрос о допустимости «физического» действия на расстоянии. Я совершенно

уверен, что наша совместная работа в Академии Наук предоставляет для этого все возможности и, в частности, страницы «Известий» Академии открыты каждому из нас для изложения своего суждения по данному поводу. Путем обмена мнений мы придем, конечно, к объединяющим нас основным установкам. Мои попытки вызвать в стенах АН обмен мнений по этому вопросу были до сих пор безрезультатны.

13. В заключение можно следующими положениями резюмировать все мои мысли касательно допустимости «физического» действия на расстоянии:

а) В современной теоретической физике представление о действии на расстоянии играет доминирующую роль без достаточных к тому оснований.

б) Действие на расстоянии не может быть рассматриваемо в качестве первичного физического явления, т. е. в качестве «физического» действия на расстоянии.

в) Принципиальная фарадее-максвелловская установка, выдвигающая на первый план непременное участие среды во всех физических взаимодействиях, совершенно несовместима с точкой зрения «физического» действия на расстоянии.

г) Ввиду своего псевдо-физического характера, представление о действии на расстоянии может быть допускаемо только при формально-математическом описании физических явлений, а также при анализе физических закономерностей.

д) Настоятельно необходим критический пересмотр основных установок современной физики, прямо или косвенно вытекающих из представления о «физическом» действии на расстоянии.

ПРЕНИЯ ПО ДОКЛАДУ АКАД. В. Ф. МИТКЕВИЧА «О „ФИЗИЧЕСКОМ“ ДЕЙСТВИИ НА РАССТОЯНИИ»

в Общем собрании Академии Наук СССР 4 октября 1933 г.

Я. И. Френкель (чл.-корр.). Вопрос о действии на расстоянии обсуждался акад. Миткевичем несколько лет тому назад в Политехническом институте. То, что сказано им сегодня, резюмирует то, что обсуждалось им три года тому назад, и я должен был бы ограничиться формулированием тех аргументов, которые были тогда зафиксированы, но хотел бы перенести внимание на пункт, который в той дискуссии не был достаточно выяснен и который может явиться основной причиной того обстоятельства, что Владимир Федорович с такой настойчивостью продолжает бить по тому же самому месту современных физических представлений, которое кажется ему неудовлетворительным. Мне

думается, здесь дело прежде всего, в том, что В. Ф. пытается отожествить понятие поля в том смысле, в каком им пользуется современная физика, со средой. Фарадей и Максвелл полагали, что электромагнитные действия осуществляются через материальную среду, состоящую, подобно всякой материи, из отдельных элементов. Эта точка зрения современной физикой отвергается, и поднимать вопрос, да еще в Академии, о восстановлении в прежних правах теории эфира Фарадея и Максвелла мне представляется совершенно недопустимым. Другое дело, остается ли с упразднением фарадее-максвелловского эфира в современной физике нечто, еще способное заполнить пространство. Если бы В. Ф. был удовлетворен положительным ответом на этот вопрос, он не проявлял бы такого ожесточения в споре. Современная физика считает необходимым ввести понятие об электромагнитном поле, которое заполняет пространство, окружающее материальные частицы, заряженные электричеством. В пространстве, окружающем одну из подобных материальных частиц, происходит некоторый физический процесс, имеется физическое состояние, характеризуемое понятием «электромагнитное поле». Этот процесс, при перемещении источника поля, распространяется со скоростью света, но современная физика категорически отрицает существование у этого поля какого-то материального носителя. Я поставил бы вопрос так: можно ли себе представить, что действие между частицами A и B осуществляется как процесс промежуточного пространства? Если считать, что наличие электрического поля и есть некоторый физический процесс в окружающем пространстве, тогда на этот, поставленный В. Ф., вопрос я отвечаю, что можно допустить, что в пространстве между A и B имеется физический процесс. Но, если В. Ф. наличием процесса, именующегося электромагнитным полем, не удовлетворяется, а требует сохранения носителя этого процесса, каким являлся у Фарадея и Максвелла эфир, то современная физика на это отвечает решительным — нет. Никакого материального процесса в том смысле, как мы это понимаем, между A и B существовать не должно.

Позвольте выйти из рамки того вопроса, который был поставлен В. Ф. и высказать свои соображения о соотношении между действием на расстояние через абсолютно пустое пространство и наличием в пространстве электромагнитного поля, не связанного с реальным носителем.

Эти два представления в значительной степени эквивалентны. Мы можем ввести представление об электромагнитном поле, заполняющем все пространство, как о некоем вспомогательном агенте, который вызвал в пространстве описанное взаимодействие между рассматриваемыми частицами. Уместно ли говорить, что частица A действует через разделяющее пространство на B? Я могу сказать, что частица создает поле, а это поле действует на частицу B. Это также относится к электрическим зарядкам, как и к силе тяготения. Можно сказать, что земля создает некоторое поле, которое на нас действует, а можно сказать, что земля действует на нас. С этой точки зрения никакого существенного различия между двумя представлениями не имеется. А поскольку никакого существенного различия нет в самом описании, постольку мы можем

считать их эквивалентными и пользоваться тем или другим, которое по характеру нашего ума, наших привычек, будет более удобным для нас. Я отвергаю и не только я, но огромное большинство современных физиков отвергает, всякие попытки материализации этого поля в том смысле, в каком эта материализация осуществлялась в эпоху Фарадея и Максвелла.

Можно, однако — об этом я говорил и в прежней дискуссии — поставить вопрос несколько иначе. Можно вопрос поставить так: является ли электромагнитное поле, не связанное с материальным носителем, необходимым понятием для физики, или физика может без него обойтись, т. е. является ли оно первичным понятием или вторичным, построенным нашей собственной фантазией для более удобного описания процесса? Здесь можно сослаться, по аналогии, на силовые линии, которыми пользуются техники для изучения электричества. Является ли магнитное поле логической конструкцией, облегчающей наши рассуждения? Но если оставить в стороне силовые линии, можно поставить вопрос, какова сущность того элекромагнитного поля, которое мы графически описываем при помощи силовых линий: является ли оно только продуктом нашего воображения, облегчающим нам описание взаимодействия между отдельными телами, или это первичное понятие. На этот вопрос существует два разных ответа, которые формулируются как Substanztheorie и как Feldtheorie. С точки зрения первой теории основную сущность представляют материальные частицы, а поле является вспомогательным понятием, с точки зрения второй теории поле есть первичное понятие, а элементы материи — его продукты. Электрические заряды являются узлами электромагнитного поля, теми точками, от которых расходятся электрические силовые линии.

В этом пункте выбор еще не сделан окончательно. Современное развитые физики приводит нас к тому, что мы начинаем считать именно электромагнитное поле основной сущностью физических явлений, а частицы материи скорей вторичными продуктами, узловыми местами, а не первоисточниками. Это соображение, которое приводит к такому перемещению центра тяжести с частицы материи на электромагнитное поле, связано, главным образом, с развитием науки, которая на почве электродинамики привела к возможности обосновать учение о движении с точки зрения законов электромагнитного поля. Я иду далеко в признании первичного понятия электромагнитного поля и не хочу отрицать значения понятия электромагнитного поля для физики, даже если мы не станем на точку зрения примата электромагнитного поля. Для того, чтобы утверждать это с категоричностью, оснований нет, но все же никто из современных физиков этого не будет оспаривать. При критике воззрения В. Ф., а тем самым — Фарадея-Максвелла приходилось указывать, что введение среды по существу не разрешает проблемы дальнодействия, но переводит ее в область бесконечно малого, ибо та среда, которая вводилась Фарадеем-Максвеллом для характеристики взаимодействия между наэлектризованными телами, мыслилась как совокупность отдельных частиц, разделенных расстоянием, может быть малым. Но таким образом действие на большое расстояние сводилось к действию на малое расстояние. Я хотел бы указать, что по

существу здесь речь шла не о выборе между действием на расстояние и действием близким через промежуточную среду, а речь шла о выборе между мгновенным действием на малых расстояниях между частицами эфира и действием на большом расстоянии. Самое представление о непонятности действий на расстояние основано на антропоморфных факторах. Мы испытываем это действие на расстояние со стороны земли. Сами мы не можем действовать на окружающие предметы По закону Ньютона, мы оказываем такое действие, но оно настолько мало, что мы не можем его ощущать. При критическом анализе, дело сводится к дальнодействию на малом расстоянии между частицами тех материальных тел, которые нами рассматриваются, так что вопрос сведения дальнодействия к близкому действию не имеет по существу смысла. С дальнодействием необходимо мириться. Другое дело, хотим ли мы это дальнодействие связывать с абсолютно пустым пространством или с электромагнитным полем. Об ожесточенном споре с В. Ф. не может быть речи. Для решения этого вопроса не требуется создавать комиссию при Академии Наук или открывать страницу «Известий» для его освещения. Это настолько ясный вопрос, что в дискуссии он не нуждается.

Другой вопрос, является ли это поле первичным понятием или вторичным, основным или вспомогательным? Об этом можно спорить, но вряд ли этот спор может быть разрешен полностью в настоящее время, когда построение физики еще далеко не закончено.

В. Ф. Миткевич (акад.). Я только что указал в своем докладе, что всякое уклонение от прямого ответа на поставленный мною вопрос, всякие оговорки или имеющие характер таковых оговорок рассуждения клонятся обычно к оправданию ответа «да». Должен сказать, что я спорю по этому вопросу с Яковом Ильичем Френкелем три года, и он все время уклоняется от прямого ответа. Здесь он выступил, много говорил о разных посторонних вещах, но опять-таки мне не ответил. Ясно, следовательно, что Я. И. стремится оправдать ответ «да». Все, что он говорил, только доказывает, что он допускает существование явлений, в которых Герц усматривает нечто спиритическое. Для того, чтобы принять точку зрения Якова Ильича, необходимо, чтобы он опровергнул мои логические рассуждения, которые я сегодня приводил в докладе и о которых я ничего не говорил три года назад, хотя Я. И. и заявил, что ничего нового я не сказал. Нет, очень много нового я сказал, только Я. И. этого не заметил. Я полагал бы, что здесь вести длительную дискуссию вряд ли целесообразно, тем более, что сейчас уже довольно поздно. Мне кажется, что эту дискуссию можно перенести на страницы «Известий Академии Наук». Пусть Я. И. на страницах «Известий» опровергнет мои логические построения. Повторяю, страницы «Известий» открыты для всех нас и я думаю, что он сделает, наконец, мне одолжение и опровергнет мои рассуждения, а тогда мы и будем говорить по существу вопроса.

В заключение я хочу выразить свое удовлетворение по поводу того, что Я. И. Френкель эволюционировал. Три года тому назад он говорил, что реальны только электроны и ионы, а поле является лишь продуктом нашего вообра-

жения.[1] Теперь он говорит о реальности электромагнитного поля. Я очень и очень приветствую это.

А. Н. Крылов (акад.). Вы, Владимир Федорович, старый техник, но я по технике вас вдвое старше. Так вот, видите ли, есть такой писатель Козьма Прутков (*В. Ф. Миткевич с места*: я его очень люблю!). Он сказал: «Кто тебе мешает выдумать порох неподмокаемый». Кто же вам мешает выдумать теорию ньютоновского тяготения при помощи действия через непрерывную среду? Установите ее и изложите точно и определенно, а без этого можно говорить до утра и ни до чего не договориться.

Н. И. Бухарин (акад.). Я бы хотел задать т. Френкелю два вопроса.

Владимир Федорович в своей речи поставил проблему, связанную с основными философскими, теоретико-познавательными установками. До сих пор мысль вращалась в плоскости того или другого соотношения между материей и «духом». Во всех спорах, во всей философской проблематике речь шла именно об этих двух категориях. Вы же выступили и говорили об электромагнитном поле как о чем-то, что не относится к материи. Я Вас спрашиваю тогда, сколько же, по вашему, насчитывается такого типа основных категорий? По вашему, как будто, выходит три, если вы вводите самостоятельную — в этом разрезе — величину, электромагнитное поле, которое не является материальной величиной и, конечно, не является и величиной психической. Следовательно вы стоите за какую-то «тройку». Так это, или нет? Что же это за третья категория?

Второй вопрос. Считаете ли Вы пространство аттрибутом чего-то (скажем, материи) или самостоятельною субстанцией? С другой стороны, если Вы считаете, что это аттрибут, то считаете ли Вы возможным существование аттрибутов в их чистой неприкосновенности и в их оторванности от того, аттрибутами чего они являются?

Я. И. Френкель (чл. корр.). Вопрос поставленный Н. И. Бухариным, совершенно законный и правильный. Если поле считать основной сущностью материального мира, то очевидно, что поле нужно считать материальным, но эта материя иная, нежели материя, которую мы представляли себе до сих пор. Материя, в опытном смысле, в том, в котором этим понятием оперирует физика, сводится к совокупности отдельных материальных частиц. Опытное понятие материи — это понятие о совокупности частиц. Если считать, что первичная сущность физической материи — поле, а материальные частицы являются

[1] См., напр., стенограмму первой беседы о «Природе электрического тока», Электричество, 1930, № 3. Выступление Я. И. Френкеля, стр. 132: «Материализация силовых линий, характерная для старой английской школы, является своего рода «материализацией духа», потому что поле является только «духом». Реальностью, подлинной материей являются наэлектризованные частицы, ионы и электроны, а магнитные силовые линии — это продукт нашего собственного воображения, вводимый нами для удобства и наглядности». И далее: «... мы должны считать эти материальные частицы основной физической реальностью, так сказать, бытием, а поле — вторичной надстройкой, так сказать, сознанием. Более того, я сказал бы, нашим сознанием, так как мы вводим это понятие о поле, чтобы удобнее описать действие, производимое частицами друг на друга. Гипертрофирование значения поля является в сущности антропоморфизмом».

известными узловыми пунктами, образованиями этого поля, тогда эту материю нужно понимать иначе, нежели мы ее понимали с прежней точки зрения. Прежде всего, к этой материи (можно ее называть материей потому, что она не относится к разряду психической категории), обладающей непрерывностью, не может применяться понятие движения. Я предостерегаю вас от понятия материи в философском смысле. Мы, физики, народ более узкий, и я пользуюсь словами в их точном физическом смысле. Так вот, понятие движения, связанное со старым понятием материи, сводилось к представлению о перемещении в пространстве точек, которые могли быть отожествлены в различные моменты.

Я не буду касаться тех модификаций, которые вносит новая волновая механика. Это мы оставим в стороне. Но если мы понятие о материальных частицах в электроне рассмотрим как понятие вторичное, электрон рассмотрим как продукт электромагнитного поля, а не источник его, то понятие движения утрачивает движение. Оно меняется в каждой точке пространства с течением времени, но это уже не будет движение. Спрашивается, что же в этом новом понятии материи остается общего со старым понятием материи? Понятие материи — это совокупность материальных частиц. У него остается много общих свойств, которые, однако, получают совершенно иную формулировку, иное представление. Так, например, мы можем говорить об энергии электромагнитного поля, но она разлита в нем с плотностью, которая пропорциональна квадрату электромагнитного поля. Мы рассматриваем движущийся электрон. Кинетическая энергия его равна половине произведения из массы на квадрат скорости. Мы говорим, что энергия электрона, сосредоточенная в поле движения электрона, есть простой результат изменения поля в пространстве и времени, которое можно описать как перемещение этого поля в пространстве, хотя это имеет чрезвычайно ограниченный смысл и не может применяться в случае, когда соответствующие, связанные с полем частицы движутся неравномерно. Мы можем приписать электромагнитному полю понятие энергии движения. Эти две величины выражаются так же, как и в старой теории. Таким образом, если поле является первичным, а частицы вторичным понятием, то это вовсе не значит, что поле возникает как новая, третья категория.

Ведь В. Ф. Миткевич говорил о материи в обычном представлении, как о совокупности материальных частиц. Простите, В. Ф., на Вашем чертеже были поставлены точки A и B, которые представляют частицы материи. Вы представляли частицы материи и взаимодействие между ними. С точки зрения второго понятия материи, связанной с полем, мы не можем говорить о действии между частицами. Самое понятие о действии утрачивает значение, когда нет точек. Мы здесь не можем говорить о силе, мы можем говорить о напряжении поля.

Новый взгляд не может считаться установленным. Я лично склоняюсь в пользу Feldtheorie.

Я возражаю Владимиру Федоровичу и настаиваю на том, что вопрос о действии на расстояние имеет смысл постольку, поскольку мы вводим представление о носителе электромагнитного поля, о котором не может быть и речи.

Д. Д. Иваненко. В вопросе «действия на расстоянии» имеется два партнера: электромагнитное, или иное поле, «actio» и пространство, «distans». В противоположность всей предыдущей дискуссии, касавшейся только роли первого партнера, именно «действия», я хочу подчеркнуть здесь участие пространства. Все же я не буду держаться рамок, указанных академиком Митkeвичем в его интересном докладе. Мне кажется вопрос о возможности действия на расстояние сам по себе лишен физического смысла пока мы не условимся точно о каких действиях и о каких пространственных расстояниях идет речь. Действие может осуществляться кроме электромагнитных полей еще полями гравитационными, например, и заранее не очевидно, что в этом случае фарадеевские воззрения, защищаемые академиком Миткевичем окажутся применимыми. Больше того, весь вопрос можно рассматривать не в макроскопической обычной области, но в области микрофизики, квантовых явлений, в области атома и ядра. Конечно, далеко не очевидно, что вопрос: возможно ли действие на расстоянии имеет абсолютно один и тот же ответ для всех областей и макро- и микрофизических. К сожалению, в дискуссии проблема все время рассматривалась только с макроскопической точки зрения классической физики и притом, как я указал уже выше, при игнорировании роли пространства. Как раз, однако, макроскопически вопрос о действии на расстоянии вполне решен современной физикой и здесь трудно ожидать интересных проблем. В частности я не думаю, чтобы проф. Френкель эволюционировал в своих воззрениях на этот вопрос за последние три года, как было предположено акад. Миткевичем, так как за последние три года никакой эволюции в физике в этом законченном вопросе не наблюдалось.

Я хочу указать здесь, что проблема actio in distans действительно приобретает интерес в квантовой релятивистской области и что решение вопроса здесь совсем заранее не очевидно. Отмечу сразу же, что все попытки априорного решения вопроса для рассматриваемой квантовой микрофизической области, например, на основании воззрений, пригодных для макроскопической области, конечно лишены всякой физической убедительности.

В самом деле, анализ возможностей измерения координаты и времени, предложенный Амбарцумияном и автором (см. Zeitschrift für Physik, 1930, или дополнения к русскому изданию книги Гейзенберга) приводит к тому, что в квантовой релятивистской области координату и время нельзя уже будет иметь сколь угодно точно, но что существует некоторая нижняя граница точности. К этому же выводу пришли Шредингер, Ландау-Пайерлс и, наконец, недавно — Паули. Конечно, оперируя в области неохваченной еще законченной теорией можно ожидать всяких непредвиденных моментов, хотя, соображения, основанные на новейшей теории дырок Дирака, повидимому, приводят к тому же результату. Наметим вкратце весьма простой ход рассуждений. Для измерения координаты электрона, мы освещаем последний светом (т. е. фотоном) очень малой длины волны (ведь мы хотим «увидеть» электрон очень точно). Но если длина волны света будет очень мала, то импульс и энергия атома света фотона будут очень велики. Измеряя точно координату, мы тем самым искажаем

импульс и энергию электрона и, вообще говоря, не можем уже быть даже уверены, что энергия электрона останется положительной. При очень точном измерении координаты может кроме данного электрона появиться еще «пара»: новый электрон и позитрон, и мы не будем знать, координату которого электрона мы определяем. Все это ведет к тому, что координату электрона нельзя измерить точнее некоторой «индивидуальной» ошибки (в противоположность «парным» ошибкам в обычном нерелятивистском принципе неопределенности).

Таким образом, не будучи еще окончательно, «официально» решенным, вопрос об измеримости координаты (и времени) весьма дискутабелен (см. например подробнее дискуссию по докладу Дирака в сборнике Ядерной конференции ГФТИ, 1933 г.). Ясно, какие глубокие последствия влечет за собой указанное обстоятельство. Вопрос о бесконечно близких расстояниях приобретает совсем другой смысл, так как с обычной точки зрения таких расстояний в квантовой релятивистской области вовсе не будет. Напомним, что было даже выставлено предложение, основанное на предыдущих соображениях, ввести в квантовую физику не обычное, но «квантованное» пространство.

Итак, в области релятивистской квантовой механики actio in distans действительно может быть рассматриваемо как новая физическая проблема, в противоположность обычной макрофизике, где этот вопрос не имеет никакого актуального значения.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1933

BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Classe des sciences mathématiques et naturelles

Отделение математических и естественных наук

ZUR FESTSTELLUNG EINER INTERNATIONALEN WÄRMEEINHEIT AUF GRUND DER MECHANISCHEN ENERGIEEINHEITEN

Von S. LIPIN

(Présenté par A. Krylov, *membre de l'Académie)*

Es ist wohl bekannt, dass die Kalorimetrie von den Versuchen stammt, welche von Lavoisier und Laplace im Jahre 1780 ausgeführt waren. Die Ergebnisse ihrer Versuche haben diese Forscher durch das Gewicht des Eises ausgedrückt, welches durch die entwickelte Wärme geschmolzen wurde. Bei der Bestimmung der spezifischer Wärme einiger Stoffe haben Lavoisier und Laplace die spezifische Wärme des Wassers als Einheit zu Grunde gelegt, wobei sie dieselbe zwischen dem Schmelzpunkt des Eises und dem Siedepunkt des Wassers konstant annahmen und das Verhältnis zwischen der Schmelzwärme eines Pfundes Eis und dem Wärmeinhalt des Wassers im obenerwähnten Gebiet gleich $^3/_4$ bestimmt hatten. Bunsen hat die mittlere Kalorie als Wärmeeinheit angewandt, welche er gleich einem hundertsten Teil des Wärmeinhaltes des Wassers zwischen den obengenannten Umwandlungspunkten gesetzt hat. Diese Einheit wurde durch die im Jahre 1899 von Warburg vorgeschlagene 15°-Kalorie verdrängt, welche bis auf Heute als gebräuchlichste Wärmeeinheit benutzt wird. Diese Temperatur hat Warburg aus den Gründen gewählt, dass: 1) in ihrer Nähe die Abhängigkeit der spezifischen Wärme des Wassers von der Temperatur genau festgestellt ist, 2) der Temperaturkoeffizient der spezifischen Wärme des Wassers bei dieser Temperatur nur gering ist und 3) diese Temperatur der üblichen Zimmertemperatur nahe liegt. Neben dieser Einheit werden jetzt auch die 20°-Kalorie und die in England und U. S. A. gesetzlich festgelegte B. T. U. als Wärmeeinheiten benutzt. Jede von diesen drei Einheiten wird als eine Wärmemenge definiert, welche zur Erwärmung einer Masseeinheit des Wassers bei einer bestimmten Temperatur auf ein Grad der angewandten Temperaturskale bei konstantem Druck verbraucht wird. Wird die

Wärmeeinheit in dieser Weise definiert, so steht das Wärmemasssystem vom absoluten Masssystem abgesondert, wodurch eine Dualität in den Energieeinheiten entsteht.

In der neusten Zeit hat in einigen Gebieten der Technik die Kalorie gewisse Verbreitung gefunden, welche gleich $^1/_{860}$ einer internationalen Kilowattstunde gesetzt wird. In dieser Weise wird die Wärmeeinheit von den internationalen elektrischen Einheiten abgeleitet.

Es wird vom Verfasser vorgeschlagen die Wärmeeinheit von den absoluten mechanischen Einheiten abzuleiten. Dafür muss die Temperatur, bei welcher die Wärmeeinheit definiert wird, und der wahrscheinlichste Wert des mechanischen Wärmeäquivalentes in absoluten Einheiten festgestellt werden. Als solche Temperatur schlägt der Verfasser vor die in U. S. S. R. gesetzlich festgelegte Normaltemperatur von 20° der internationalen Temperaturskale zu wählen, welche der Temperatur der Umgebung in den meissten Fällen näher als die Temperatur 15° C liegt und bei der Feststellung der anderen Einheiten in der neusten Zeit üblich zu Grunde gelegt wird. Zur Feststellung des wahrscheinlichsten Wertes des mechanischen Wärmeäquivalentes können die älteren Zusammenstellungen von Warburg, Ames, Griffiths (1900) und Scheel und Luther (1908) ohne weiteres nicht benutzt werden, weil sie die Ergebnisse der späteren Bestimmungen von Cremieu und Rispail, W. R. und W. E. Bousfield und Jaeger und Steinwehr nicht enthalten. Diese sind von Eucken berücksichtigt worden, brauchen aber einige Korrektionen. Die Ergebnisse der Bestimmungen des Wärmeäquivalentes von Rowland an hat der Verfasser von neuem bearbeitet und einige Korrektionen zu diesen auf Grund der neueren elektrischen Messungen und der heutezutage aufgestellten Beziehungen zwischen den internationalen und absoluten elektrischen Einheiten angebracht.

In der weiter angeführten Zahlentafel sind in der zweiten Spalte die Originalwerte des mechanischen Wärmeäquivalentes angegeben, in der dritten — die vom Verfasser korrigierten Werte. Es wurden folgende Korrektionen eingeführt:

1. Zur Reduktion auf die Wasserstoffskala wurden die von Scheel und Luther[1] benutzten Korrektionen angebracht.

2. Die elektromotorische Kraft des Clarkschen Elementes wird auf Grund der Messungen von Guthe, Mather und Smith, Wolff und Waters und der von Barnes[2] ausgeführten Messungen der elektromotorischen Kräfte

[1] Verhandl. d. d. phys. Ges. **10**, 584 (1908).
[2] Proc. Roy. Soc. A. **82**, 390 (1909).

der Clarkschen Elemente der älteren und der neueren Modelle gleich 1.4333 Volt bei 15° C gesetzt.

3. Das Verhältnis zwischen den Werten des absoluten und des internationalen Joules wird aus den Beziehungen zwischen dem absoluten und dem internationalen Ohm und zwischen dem absoluten und dem internationalen Ampere abgeleitet. Für die erste wird der Mittelwert aus den Ergebnissen der im National Physical Laboratory, in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt und in dem Bureau of Standards ausgeführten Messungen angenommen[1] und für die zweite der Mittelwert der Ergebnisse, welche in dem N. P. L., in der P. T. R. und in der Gröninger Universität ermittelt worden sind.[2] Es wird also angenommen, dass

$$1 \text{ int. Ohm} = 1.0005_3 \text{ abs. Ohm.}$$
$$1 \text{ int. Amp.} = 0.9999_1 \text{ abs. Amp.}$$

woraus folgt, dass;

$$1 \text{ int. Joule} = 1.0003_5 \text{ abs. Joule.}$$

4. Zur Reduktion der von Schuster und Gannon, Barnes und Cremieu und Rispail ermittelten Werte zur 15°-Kalorie wird, bzw. die Kalorie bei 19.1° C gleich 0.9992, bei 16° C gleich 0.9998 und die mittlere Kalorie zwischen 0° und 15° C gleich 1.0022 der 15°-Kalorie gesetzt.

5. Der von Cremiu und Rispail auf mechanischem Wege ermittelte Wert wird mit Hilfe des einer 15°-Kalorie entsprechenden Quecksilbergewichtes $\mu = 15.389$ mg umgerechnet, welcher als

$$\mu = \frac{d}{c}\left(\frac{1}{D} - \frac{1}{D_1}\right)$$

auf rechnerischem Wege bestimmt wurde, indem die folgenden Werte zu Grunde gelegt wurden: die Dichte des Eises bei 0° C $d = 13.59545$, die latente Schmelzwärme des Eises $c = 79.67$ 15°-Kalorien, die Dichte des Eises $D = 0.9168$ und diejenige des Wassers bei 0° $D_1 = 0.99868$.

Wegen der verschiedenen Genauigkeit der angewandten Methoden, können die auf diese Weise korrigierten Werte doch nicht gleich geschätzt werden und um den Wert des mechanischen Wärmeäquivalentes aus ihnen zu ermitteln, müssen ihnen verschiedene Gewichte zugelegt werden. Die letzteren werden umgekehrt proportional dem Genauigkeitsmasse gesetzt, wobei das volle Gewicht nur den in der Physikalisch-Technischen Reichsan-

[1] Trans. Amer. Inst. E. E. 1326 (1931).
[2] Bureau of Standards circular No 60.

stalt von Jaeger und Steinwehr ausgeführten Messungen zugelegt wurde, welche den Genauigkeitsforderungen des heutigen Zustandes der Messtechnik allein entsprechen. Bei der Schätzung der anderen Ergebnisse waren folgende Annahmen vorausgesetzt:

1. Dass der Fehler der Temperaturmessung einen relativen Bruchfehler $\left(\frac{\Delta J}{J}\right)_t = \frac{\Delta t}{t}$ des Resultats ergiebt. Es wird angenommen, dass eine Temperaturdifferenz mit einer Genauigkeit bis auf 2×10^{-3} bei der Anwendung eines Quecksilberthermometers und bis auf 5×10^{-4} mit einem Widerstandsthermometer bestimmt werden kann.

2. Dass bei der Bestimmung der elektrischen Energie aus der Stromspannung und dem Widerstande des Heizers oder aus der Stromstärke und dem Widerstande die relativen Bruchfehler des Resultats gleich $\left(\frac{\Delta J}{J}\right)_E = \frac{2\ \Delta E}{E}$ bzw. $\left(\frac{\Delta J}{J}\right)_i = \frac{2\Delta i}{i}$ sind, während der Widerstand der Heizspule leicht mit einer Genauigkeit bis zur fünften Dezimale bestimmt werden kann, so das dieser Fehler keinen merklichen Einfluss auf das Resultat ausübt. Bei der Messung des von Bousfield benutzten Quecksilberwiderstandes wird aber eine Genauigkeit nur bis auf die dritte Dezimale garantiert.

3. Bei der Bestimmung der elektrischen Energie aus der Stromstärke und der Spannung sind die relativen Bruchfehler $\left(\frac{\Delta J}{J}\right)_i$ und $\left(\frac{\Delta J}{J}\right)_E$ gleich $\frac{\Delta i}{i}$ bzw. $\frac{\Delta E}{E}$. Die Strommessung mittels des Silbervoltameter gestattet eine Genauigkeit von 2×10^{-4}.

4. Es wird angenommen, dass die elektromotorische Kraft des Westonschen Normalelementes bis auf 1×10^{-4} sicher aufgestellt ist, während die des Clarkschen nur bis auf 1×10^{-3}.

5. Für die auf mechanischen Wege ausgeführten Bestimmungen folgt aus der Analyse der Messungsmethoden, dass die Genauigkeit der von Miculescu ausgeführten Bestimmungen wegen des nicht berücksichtigten Wärmeaustausches des Kalorimeters nicht grösser als 5×10^{-3} ist, während die Ergebnisse von Rowland und von Cremieu und Rispail eine Genauigkeit von 2×10^{-3} erreichen.

Die in dieser Weise festgestellten Bruchfehler sind in den Spalten 6—9 und die Quadrate der resultierenden Fehler in der Spalte 10 derselben Zahlentafel angegeben. Aus den Gewichten p und den in der Spalte 11 zusammengestellten Produkten erhält man den gewogenen Wert des me-

Bestimmung von	J Original-wert	J Korrigier-ter Wert	Angew. Methode	Temperatur bzw. Wärmemessung	$\left(\frac{\Delta J}{J}\right)_t$	$\left(\frac{\Delta J}{J}\right)_E$	$\left(\frac{\Delta J}{J}\right)_i$	$\left(\frac{\Delta J}{J}\right)_r$	$\left(\frac{\Delta J}{J}\right)^2$	p	pJ
Rowland[1]	$4.189.10^7$	$4.187.10^7$	mech.	t_{Hg}	—	—	—	—	4.10^{-6}	0.7	2.931
Miculescu[2]	4.1857	4.183	»	»	5.10^{-3}	—	—	—	25.10^{-6}	0.1	0.418
Griffiths[3]	4.1982	4.196	$\frac{E^2}{r}$	»	2.10^{-3}	2.10^{-3}	—	—	8.10^{-6}	0.4	1.678
Schuster u. Gannon[4] . .	4.1917	4.1945	Ei	»	2.10^{-3}	1.10^{-3}	2.10^{-4}	—	5.10^{-6}	0.6	2.517
Barnes[5]	4.1842	4.1864	$\frac{E^2}{r}$	t_R	5.10^{-4}	2.10^{-3}	—	—	425.10^{-8}	0.7	2.930
Cremieu u. Rispail[6] . . .	4.1851	4.184	mech.	Q_{Hg}	—	—	—	—	4.10^{-6}	0.7	2.929
Bousfield[7]	4.179	4.180	i^2r	t_{Hg}	2.10^{-3}	—	4.10^{-4}	1.10^{-3}	416.10^{-8}	0.7	2.926
Jaeger u. Steinwehr . . .	4.1842	4.1856	$\frac{E^2}{r}$	t_R	5.10^{-4}	2.10^{-4}	—	—	29.10^{-8}	10.0	41.856
										$\Sigma p = 13.9$	$\Sigma pJ = 58.185$

1 Proc. Amer. Acad. (7), **15**, 75 (1880).
2 Journ. d. Phys. (3), **1**, 104 (1892).
3 Phil. Trans. A, **184**, 361 (1893); Proc. Roy. Soc. **55**, 23 (1894).
4 Phil. Trans. A, **186**, 415 (1893).
5 Phil. Trans. A, **199**, 147 (1902); Proc. Roy. Soc. A, **82**, 390 (1909).
6 Ann. Chim. phys. (VIII), **20**, 417 (1910).
7 Phil. Trans. A, **211**, 199 (1912).
8 Ann. d. Phys. **64**, 305 (1921).

chanischen Wärmeäquivalentens der 15°-Kalorie gleich $4.1860 \times \times 10^7$ Erg.

Um den Wert des mechanischen Wärmeäquivalentes der 20°-Kalorie daraus zu ermitteln, muss dass Verhältnis zwischen den beiden Kalorien bestimmt werden. Dieses kann aus den Ergebnissen der zahlreichen Untersuchungen der spezifischen Wärme des Wassers ermittelt werden. Abgesehen von den älteren Bestimmungen, welche ein kontinuierliches Wachsen der spezifischen Wärme des Wassers mit der Temperatur oder eine komplizierte Kurve für diese Funktion ergaben, erhält man aus den Ergebnissen verschiedener Forscher folgende Werte für das Verhältnis zwischen der 20°-Kalorie und der 15°-Kalorie:

Rowland	0.9986
Dieterici (1888)	0.9992
« (1905)	0.9987
Bartoli u. Stracciati	0.9995
Griffiths	0.9987
Lüdin	0.9994
Callender und Barnes	0.9987
Janke	0.9991
Cotty	0.9994
Bousfield	0.9991
Jaeger u. Steinwehr	0.9990
Dickinson u. Osborn	0.9990
Osborn, Simson u. Finck	0.9991

also im Mittel 0.9990. Durch Multiplikation mit dem mechanischen Wermeäquivalent der 15°-Kalorie erhält man das die 20°-Kalorie $4.182 \times \times 10^7$ Erg äquivalent ist.

Stellt man die ermittelten Werte mit dem in den International Critical Tables angegebenen und mit dem vom Ausschuss für Einheiten und Formelgrössen festgestelltem Wert zusammen, so erhält man die folgende Tabelle:

	15°-Kalorie	20°-Kalorie
Ausschuss f. Einheiten u. Formelgrössen	$4.186.10^7$ Erg	—
International Critical Tables	$4.185.10^7$	$4.181.10^7$ Erg
Laut dem Verfasser	$4.186.10^7$	$4.182.10^7$

Aus dieser Zusammenstellung ist zu ersehen, dass das mechanische Wärmeäquivalent nur bis auf eine Einheit in der dritten Dezimale genau festgestellt ist. Bei dem heutigen Stande der Messtechnik kann aber dieser Wert mit einer Genauigkeit bis auf einige Einheiten in der vierten Dezimale festgestellt werden. Um dieses zu erzielen ist es nötig eine neue Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes auszuführen, welche eine Genau-

igkeit sichert, die der Genauigkeit der in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ausgeführten Messungen nicht nachgibt.

Auf Grund der obenerwähnten Überlegungen und der angeführten Zusammenstellung, wird vom Verfasser vorgeschlagen:

1. Als internationale Wärmeeinheit die 20°-Kalorie anzunehmen.
2. Die letztere auf Grund mechanischer Einheiten festzustellen.
3. Eine neue Bestimmung des Wärmeäquivalentes zu unternehmen.
4. Bis diese ausgeführt worden ist, die 20°-Kalorie als eine Wärmemenge zu definieren, welche 4.182×10^{10} Erg äquivalent ist, also

1 Kalorie = 1000 Millikalorien = 4.182×10^{10} Erg.

Erst nachdem diese Veröffentlichung der Akademie der Wissenschaften vorgestellt war, wurde der Verfasser mit der Zusammenfassung von Laby bekannt. Der letztere hat die obenerwähnten Originalwerte korregiert und für den mechanischen Wärmeäquivalent der 20° — Kalorie den gewogenen Mittelwert 4.182×10^7 Erg ermittelt. Spätere Experimentalversuche von Laby und Herkus ergaben den Wert 4.1809×10^7 Erg. Es ist zu ersehen, dass dieser Wert eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Jaeger und Steinwehr ($4.181_5 \times 10^7$) zeigt.

С. В. ЛИПИН. ОБ УСТАНОВЛЕНИИ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЕДИНИЦЫ НА ОСНОВАНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ

РЕЗЮМЕ

В настоящее время, кроме наиболее употребительной 15°-й калории получили распространение, в качестве единиц количества теплоты, 20°-ная калория, британская тепловая единица (B.T.U.) и калория, определяемая как $^1/_{860}$ международного киловатт-часа. Существование этих единиц, наряду с абсолютной системой единиц вносит двойственность в единицах энергии.

Автор настоящей статьи предлагает установить в качестве международной единицы количества теплоты 20°-ную калорию, дефинируя ее на основании существующих абсолютных единиц. На основании произведенного им сопоставления результатов определения механического эквивалента теплоты и внесенных поправок, автор приходит к выводу о необходимости нового экспериментального определения этой величины. Впредь до выполнения этого определения автор предлагает принять калорию эквивалентной 4.182×10^{10} эрга с подразделением ее на 1000 милликалорий, т. е.

1 кал = 1000 мкал = 4.182×10^{10} эрга.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1933
BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS
Classe des sciences mathématiques et naturelles
Отделение математических и естественных наук

О БРОУНОВСКОМ ДВИЖЕНИИ

Ю. А. КРУТКОВА

(*Представлено академиком* **А. Н. Крыловым**)

Поставим себе целью вывести две основные формулы теории Броуновского движения элементарно, но более тщательно, чем это обычно делается.* Вот эти две формулы:

$$\overline{X^2} = 2kTs\tau \tag{1}$$

$$\overline{\Delta^2} = \frac{2kTt}{s} \tag{2}$$

Здесь k постоянная Больтцманна, T абсолютная температура, s коэффициент в силе сопротивления среды, равной $-sv$, где v скорость, $\overline{X^2}$ обозначает средний квадрат импульса, сообщенного частице беспорядочными ударами молекул окружающей среды за время τ; $\overline{\Delta^2}$ есть средний квадрат смещения частицы за время t; под импульсом и смещением подразумеваются таковые, взятые для некоторого направления. Как известно, формулы эти справедливы и в более общем смысле — для любой обобщенной координаты q и соответствующего ей обобщенного импульса, если $\dot{q}$ удовлетворяет уравнению типа § 1 (4).

§ **1.** Обозначим s, деленное на массу частицы, через λ и силу, происходящую от ударов окружающих молекул и остающуюся за выделением силы сопротивления $-sv$, деленную на массу частицы, через F:

$$\lambda = \frac{s}{m}, \quad F = \frac{\text{сила}}{m}. \tag{3}$$

* См. P. Langevin. C. R. Paris, 146, 1908, p. 530.— G. L. de Haas-Lorentz. Die Brownsche Bewegung, Braunschweig 1913.— H. A. Lorentz. Les théories statistiques en thermodynamique, Leipzig, 1916, p. 97.— Относительно нашей формулы (17): L. S. Ornstein. Proc. Amsterdam 21, 1917, p. 96; Zschr. f. Phys., 41, 1927, p. 848.

Уравнение движения частицы для некоторого направления гласит

$$\dot{v} = -\lambda v + F. \tag{4}$$

Для v имеем

$$v = v_0 e^{-\lambda t} + e^{-\lambda t} \int_0^t e^{\lambda\theta} F(\theta)\, d\theta; \tag{5}$$

здесь v_0 значение скорости v в начальный момент $t = 0$.

Разбиваем промежуток $(0, t)$ на n промежутков длины τ. Пользуясь теоремой о среднем значении, можем переписать интеграл так

$$\int_0^t = \sum_{r=1}^{n-1} F(\xi_r) \int_{r\tau}^{(r+1)\tau} e^{\lambda\theta}\, d\theta. \tag{6}$$

Здесь

$$r\tau \leqslant \xi_r \leqslant (r+1)\tau. \tag{7}$$

Обозначим $F(\xi_r)$ через F_r; выполняя интегрирование, получаем

$$v = v_0 e^{-\lambda t} + e^{-\lambda t} \sum_{r=1}^{n-1} F_r \frac{e^{(r+1)\lambda\tau} - e^{r\lambda\tau}}{\lambda} \tag{8}$$

или

$$v = v_0 e^{-\lambda t} + e^{-\lambda t} (e^{\lambda\tau} - 1) \sum_{r=1}^{n-1} F_r \frac{e^{r\lambda\tau}}{\lambda}. \tag{8'}$$

Образуем теперь v^2 и берем среднее от него для большого числа частиц. Обозначая среднее чертой над буквами, имеем

$$\overline{v_0 F_r} = 0, \quad \overline{F_r F_s} = 0, \tag{9}$$

$$\overline{v^2} = \overline{v_0^2}, \tag{10}$$

$$\overline{F_r^2} = \overline{F^2} \tag{11}$$

(9) следует из независимости величин v_0, F_r, F_s друг от друга, (10) следует из стационарности для большого числа частиц, (11) наиболее естественное предположение. Таким образом, получаем

$$\overline{v^2} = \overline{v^2} e^{-2\lambda t} + \frac{1}{\lambda^2} e^{-2\lambda t} (e^{\lambda\tau} - 1)^2 \overline{F^2} \sum_{r=0}^{n-1} e^{2r\lambda\tau}. \tag{12}$$

Полагая $n\tau = t$, окончательно имеем точную формулу для $\overline{F^2}$:

$$\text{(I)} \qquad \overline{F^2} = \overline{v^2}\lambda^2 \frac{e^{2\lambda\tau} - 1}{(e^{\lambda\tau} - 1)^2} = \overline{v^2}\lambda^2 \frac{e^{\lambda\tau} + 1}{e^{\lambda\tau} - 1}.$$

Если мы через X обозначим импульс за время τ, то, очевидно, можем положить (см. 3):

$$(13) \qquad \overline{X^2} = \tau^2 \overline{F^2} m^2$$

и соответственно

$$\text{(I}'\text{)} \qquad \overline{X^2} = m^2 \overline{v^2} \lambda^2 \tau^2 \frac{e^{2\lambda\tau} - 1}{(e^{\lambda\tau} - 1)^2} = m^2\overline{v^2}\lambda^2\tau^2 \frac{e^{\lambda\tau} + 1}{e^{\lambda\tau} - 1}.$$

Дабы получить обычную формулу Эйнштейна, полагаем

$$(14) \qquad \lambda\tau \leqslant 1$$

(легко видеть, что $\lambda\tau$ имеет размерность нуль). Тогда получаем

$$\text{(I}''\text{)} \qquad \overline{X^2} = 2m^2 \overline{v^2} \lambda\tau = 2m\overline{v^2} s\tau.$$

Подставляя $m\overline{v^2} = kT$, получаем (1).

Таким образом, формула Эйнштейна получается из точной формулы (I$'$) в предположении (14).

§ **2.** Переходим к выводу выражения (2) для квадрата смещения.

Из (5) имеем

$$(15) \qquad x - x_0 = \frac{v_0}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t}) + \int_0^t d\eta e^{-\lambda\eta} \int_0^\eta d\theta e^{\lambda\theta} F(\theta).$$

Изменим справа порядок интегрирования. Тогда получим

$$(15') \qquad x - x_0 = \frac{v_0}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t}) + \int_0^t d\theta e^{\lambda\theta} F(\theta) \int_\theta^t d\eta\, e^{-\lambda\eta}$$

и, выполнив интегрирование по η:

$$(15'') \qquad x - x_0 = \frac{v_0}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t}) + \frac{1}{\lambda}\int_0^t d\theta\, e^{\lambda\theta} F(\theta)\,(e^{-\lambda\theta} - e^{-\lambda t})$$

или

$$(15''') \qquad x - x_0 = \frac{v_0}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t}) + \frac{1}{\lambda}\int_0^t F(\theta)\, d\theta - \frac{e^{-\lambda t}}{\lambda}\int_0^t e^{\lambda\theta} F(\theta)\, d\theta.$$

И, наконец,

$$(15'''') \quad x - x_0 = \frac{v_0}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t}) + \frac{\tau}{\lambda}\sum_{r=0}^{n-1} F_r - \frac{e^{-\lambda t}}{\lambda^2}(e^{\lambda\tau} - 1)\sum_{r=0}^{n-1} F_r\, e^{r\lambda\tau}.$$

Образуем $(x - x_0)^2$ и берем среднее по большому числу частиц. Пользуясь (9), (10), (11) и (I) получаем

$$\overline{(x - x_0)^2} = \frac{\overline{v^2}}{\lambda^2}(1 - e^{-\lambda t})^2 +$$

$$(16) \qquad + \overline{v^2}\,\lambda^2 \frac{e^{2\lambda\tau} - 1}{(e^{\lambda\tau} - 1)^2}\left[\frac{\tau t}{\lambda^2} + \frac{e^{-2\lambda t}}{\lambda^4}\frac{(e^{\lambda\tau} - 1)^2}{e^{2\lambda\tau} - 1}(e^{2\ t} - 1) - \right.$$

$$\left. - 2\frac{\tau}{\lambda^3} e^{-\lambda t}(e^{\lambda\tau} - 1)\frac{e^{\lambda t} - 1}{e^{\lambda\tau} - 1}\right]$$

или, после простых преобразований, окончательно

$$(II) \quad \overline{\Delta^2} = \overline{(x - x_0)^2} = \frac{e^{2\lambda\tau} - 1}{(e^{\lambda\tau} - 1)^2}\,\overline{v^2}\,\tau t + \frac{2\overline{v^2}}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t})\left(\frac{1}{\lambda} - \tau\frac{e^{2\lambda\tau} - 1}{(e^{\lambda\tau} - 1)^2}\right).$$

(16) есть точная формула для среднего квадрата смещения.

Введем теперь снова предположение, что $\lambda\tau \leqslant 1$. Тогда после простых преобразований получаем

$$\overline{\Delta^2} = \overline{(x - x_0)^2} = \frac{2\overline{v^2}}{\lambda}\left[t - \frac{1 - e^{-\lambda t}}{\lambda}\right] + \frac{2\overline{v^2}}{\lambda}[\lambda\tau t + 2\tau(1 - e^{-\lambda t})].$$

Последним членом можно пренебречь. Действительно, обычно мы имеем λ большое, а по предположению $\lambda\tau \leqslant 1$, следовательно, τ весьма мало. Отбрасывая последний член, получаем

$$(17) \qquad \overline{\Delta^2} = \overline{(x - x_0)^2} = \frac{2\overline{v^2}}{\lambda}\left[t - \frac{1 - e^{-\lambda t}}{\lambda}\right].$$

Рассмотрим теперь два крайних случая. Положим сперва, что $\lambda t \geqslant 1$. Тогда имеем

$$\overline{\Delta^2} = \frac{2\overline{v^2}}{\lambda}\left(t - \frac{1}{\lambda}\right)$$

и для λ достаточно большого получаем формулу Эйнштейна

$$(18) \qquad \overline{\Delta^2} = \overline{(x - x_0)^2} = \frac{2\overline{v^2}}{\lambda} t = \frac{2m\overline{v^2}}{s} t = \frac{2kTt}{s}.$$

Положим, с другой стороны, что λt мало. Тогда получим

$$\overline{\Delta^2} = \frac{\overline{v^2}}{\lambda}\left[t - \frac{\lambda t - \frac{1}{2}\lambda^2 t^2}{\lambda}\right] = \overline{v^2}\, t^2. \tag{19}$$

Это есть вполне разумный результат, так как смещение за малый промежуток времени определяется начальным значением скорости v_0:

$$\Delta = v_0 t,\ \ \Delta^2 = v_0^2 t^2,\ \ \overline{\Delta^2} = \overline{v_0^2}\, t^2 = \overline{v^2}\, t^2. \tag{20}$$

Еще раз подчеркнем, что выражения (I) и (II) в предположениях (9), (10), (11) выражения точные.

Задача, которая теперь возникает, следующая: найти вероятности для изменения скорости и для перемещения. Первая задача решена мною точно в другой работе,[1] второй задаче я надеюсь вскоре посвятить отдельную статью. Эта заметка, таким образом, играет роль элементарного введения.

Физико-математический институт.
Весна, 1933.

[1] Под заглавием «Zur Theorie der Brownschen. Bewegung. Über die Verteilung der Geschwindig keiten». Работа должна вскоре появиться в «Phys. Ztschr. d. Sowietunion».

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1933

BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Classe des sciences mathématiques et naturelles

Отделение математических и естественных наук

NOTIZ ÜBER DIE DIFFUSION IM SCHWEREFELDE

Von G. KRUTKOW

(*Presenté par* A. Krylov, *membre de l'Académie*)

§ **1.** In einer im Jahre 1927 erschienenen Arbeit betrachtet R. Fürth folgende Aufgabe *:

Eine kolloide oder kristalloide Lösung, deren Teilchen ein grösseres spezifisches Gewicht besitzen, als die umgebende Flüssigkeit, befindet sich in einem homogenen Schwerefelde. Es wird gefragt wie sich aus einer Anfangsverteilung der Teilchen der (barometrische) Endzustand entwickelt, d. h. es soll die Teilchenzahl pro Volumeneinheit als Funktion der Höhe über dem Gefässboden x und der Zeit t gefunden werden. Als Anfangszustand wird bei Herrn Fürth gleichmässige Dichte angenommen. Die Lösung befindet sich zwischen dem horizontalen Boden $x = 0$ und einer horizontalen Deckplatte in der Höhe $x = l$. Am Boden und an der Deckplatte kleben die Teilchen nicht an.

Wenn man die Anfangsverteilung beliebig annimmt, so lautet die Aufgabe:

Die Teilchendichte n genügt

I, der Differentialgleichung

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D\frac{\partial^2 n}{\partial x^2} + c\frac{\partial n}{\partial x},$$

II, der Anfangsbedingung

$$n(x, 0) = \varphi(x),$$

III, den Randbedingungen

$$D\frac{\partial n}{\partial x} cn + = 0 \text{ für } x = 0 \text{ und } x = l.$$

* R. Fürth. Zschr. f. Phys. 40, 1927, S. 351.

Setzt man um aus I das Glied $c\partial n/\partial x$ fortzuschaffen

$$n = ue^{-\frac{c}{2D}x - \frac{c^2}{4D}t}$$

so wird für u erhalten:

I* $$\frac{\partial u}{\partial t} = D\frac{\partial^2 u}{\partial x^2},$$

II* $$u(x,\ 0) = \varphi(x)\, e^{\frac{c}{2D}x},$$

III* $$D\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{c}{2}u = 0 \text{ für } x = 0 \text{ und } x = l.$$

Herr Fürth löst nun diese Aufgabe indem er partikuläre Lösungen von I*, die III* befriedigen, hinschreibt; die aus ihnen aufgebaute Lösung genügt indessen der evidenten Bedingung

$$\int_0^l n dx = \text{Const. (für alle Zeiten)}$$

nicht und, um dem abzuhelfen muss eine weitere partikuläre Lösung hinzugefügt werden.*

Der Grund warum nur dieses etwas künstliche Verfahren zum Ziele führt ist der folgende. Versucht man partikuläre Lösungen durch den Ansatz $u(x, t) = X(x)\,T(t)$ zu gewinnen, so werden zunächst zueinander orthogonale Lösungen gefunden (das sind die Lösungen, die Herr Fürth zuerst betrachtet) und weiter eine Lösung, die zu den vorhergehenden nicht orthogonal ist. Dies führt zu Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Konstanten in der allgemeinen Lösung, d. h. bei Anpassung an den Anfangszustand.

Ich will nun zeigen, dass man durch Anwendung der Cauchyschen Residuenmethode ** die allgemeine Lösung der Aufgabe ohne Mühe erhält.

§ **2.** Wir setzen

$$\frac{c}{2D} = h,\ \varphi(x)\, e^{hx} = \psi(x)$$

* L. c., S. 355.

** Cauchy. Mémoire sur l'application du calcul des résidus à la solution des problèmes de physique mathématique, Paris 1827; s. auch A. N. Kriloff. Differentialgleichungen, 2. Aufl. p. 247 (russisch).

und haben dann:

(1) $$\frac{\partial u}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

(2) $$u(x, 0) = \psi(x)$$

(3) $$\frac{\partial u}{\partial x} + hu = 0 \text{ für } x = 0 \text{ und } x = l.$$

Die Lösung ist

(4) $$u = \mathcal{E}_\rho \left[\frac{e^{D\rho^2 t} \int_0^l \{(\rho + h) e^{-\rho(x+\alpha)} - (h - \rho) e^{-\rho(\alpha - x)}\} \psi(\alpha)\, d\alpha}{(\rho - h)(1 - e^{-2\rho l})} \right].$$

Die Pole sind also

(5) $$\rho = h, \pm in\frac{\pi}{l} \; (n = 0, 1, 2, \ldots).$$

Für $\rho = h$ hat man

(6) $$\mathcal{E}_h = \frac{2h e^{Dh^2 t} \int_0^l e^{-h(x+\alpha)} \psi(\alpha)\, d\alpha}{1 - e^{-2hl}}$$

und für

$$\rho = \pm in\frac{\pi}{l} \; (n \neq 0):$$

(7₁) $$\mathcal{E}_{+\frac{in\pi}{l}} = \frac{e^{-D\lambda_n^2 t} \int_0^l \left\{-(h + i\lambda_n) e^{-i\lambda_n(x+\alpha)} + (h - i\lambda_n) e^{-i\lambda_n(\alpha - x)}\right\} \psi(\alpha)\, d\alpha}{2l(h - i\lambda_n)},$$

(7₂) $$\mathcal{E}_{-\frac{in\pi}{l}} = \frac{e^{-D\lambda_n^2 t} \int_0^l \left\{-(h - i\lambda_n) e^{i\lambda_n(x+\alpha)} + (h + i\lambda_n) e^{i\lambda_n(\alpha - x)}\right\} \psi(\alpha)\, d\alpha}{2l(h + i\lambda_n)},$$

wo noch gesetzt ist:

(8) $$\frac{n\pi}{l} = \lambda_n.$$

Für $\mathcal{E}_0$ erhält man Null. Fasst man (7_1) und (7_2) zusammen, so wird erhalten

(9) $$\mathcal{E}_{\pm i\lambda_n} = \frac{2e^{-D\lambda_n^2 t}}{l(h^2 + \lambda_n^2)} \int_0^l (\lambda_n \cos\lambda_n \alpha - h \sin\lambda_n \alpha)(\lambda_n \cos\lambda_n x - h \sin\lambda_n x)\, \psi(\alpha)\, d\alpha.$$

Die allgemeine Lösung ist

$$u = Ce^{Dh^2t - hx} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{-D\lambda_n^2 t} \left(\cos \lambda_n x - \frac{h}{\lambda_n} \sin \lambda_n x \right) \tag{10}$$

mit

$$C = \frac{2h}{1 - e^{-2hl}} \int_0^l e^{-h\alpha} \psi(\alpha)\, d\alpha, \tag{11}$$

$$A_n = \frac{2\lambda_n}{l(h^2 + \lambda_n^2)} \int_0^l (\lambda_n \cos \lambda_n \alpha - h \sin \lambda_n \alpha) \psi(\alpha)\, d\alpha. \tag{12}$$

Für die Dichte n hat man:

$$n = ue^{-Dh^2t - hx} =$$

$$= Ce^{-2hx} + e^{-hx} \sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{-D(h^2+\lambda_n^2)t} \left(\cos \lambda_n x - \frac{h}{\lambda_n} \sin \lambda_n x \right). \tag{13}$$

$\psi(x)$ ist gleich $\varphi(x) e^{hx}$, wo $\varphi(x) = n(x, 0)$ ist. Es ist also

$$C = \frac{2hN}{1 - e^{-2hl}}, \tag{11'}$$

wo N die Gesamtzahl der Teilchen bedeutet. Für $t \to \infty$ erhält man den barometrischen Endzustand

$$n = Ce^{-2hx}. \tag{14}$$

§ **3.** Für den von Herrn Fürth betrachteten Anfangszustand hat man

$$\varphi(x) = \text{const.} = \frac{N}{l}, \quad \psi(x) = \frac{N}{l} e^{hx}.$$

A_n berechnet sich leicht aus Formel (12) ohne komplementäre Betrachtungen über die Fortsetzung von Funktionen ausserhalb des Intervalls $(0, l)$ und ohne eine willkürliche Konstante, die man frei wählen kann.* Wir haben

$$A_n = \frac{2N\lambda_n}{l^2(h^2 + \lambda_n^2)} \int_0^l (\lambda_n \cos \lambda_n \alpha - h \sin \lambda_n \alpha) e^{h\alpha}\, d\alpha$$

oder

$$A_n = \frac{2N\lambda_n}{l^2(h^2 + \lambda_n^2)} (\lambda_n \mathrm{I} - h \mathrm{II}).$$

* L. c. S 357 u. 358.

Nun hat man:

$$\mathrm{I} = \int_0^l e^{h\alpha} \cos \lambda_n \alpha \, d\alpha = \frac{e^{hl} h}{h^2 + \lambda_n^2} (-1)^n - \frac{h}{h^2 + \lambda_n^2},$$

$$\mathrm{II} = \int_0^l e^{h\alpha} \sin \lambda_n \alpha \, d\alpha = -\frac{e^{hl} \lambda_n}{h^2 + \lambda_n^2} (-1)^n + \frac{\lambda_n}{h^2 + \lambda_n^2},$$

da $\cos \lambda_n l = \cos n\pi = (-1)^n$ und $\sin \lambda_n l = 0$ ist. Daraus erhält man

$$A_n = \frac{4N\lambda_n^2 h}{l^2 (h^2 + \lambda_n^2)^2} \left((-1)^n e^{hl} - 1 \right)$$

was $\left(\text{mit } h = \frac{c}{2D}, \ \lambda_n = \frac{n\pi}{l}\right)$ bis aus den Faktor N, der bei Fürth gleich 1 gesetzt ist, mit l. c. S. 358 Formel (24) zusammenfällt.

Für die Diskussion der Lösung und Vergleich mit dem Experiment sei auf die Fürthsche Arbeit verwiesen (l. c. S. 359—363).

Physikalisches Institut
d. Universität.
Juli 1933

Ю. А. КРУТКОВ. ЗАМЕЧАНИЕ О ДИФФУЗИИ В ПОЛЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

РЕЗЮМЕ

Фюртом еще в 1927 г. была решена задача о диффузии частиц в поле силы тяжести, причем раствор снизу и сверху ограничен горизонтальными плоскостями, к которым частицы не прилипают. В этой заметке мы, применяя методу интегральных вычетов Коши, даем решение задачи для произвольного начального распределения и получаем результат без всяких добавочных соображений и без произвольных постоянных, которыми можно распоряжаться по произволу. Задача дана выражениями I, II, III, общее решение — формулой (13).

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1933
BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS
Classe des sciences mathématiques et naturelles
Отделение математических и естественных наук

ПРИЛОЖЕНИЕ ФОРМУЛЫ А. И. БАЧИНСКОГО ДЛЯ ВЯЗКОСТИ РАСПЛАВЛЕННЫХ СОЛЕЙ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

М. П. ВОЛАРОВИЧА

(*Представлено академиком* П. П. Лазаревым)

Вопрос о температурной зависимости вязкости жидкостей до сих пор теоретически почти не разработан. Были известны только многочисленные эмпирические интерполяционные формулы, выражающие зависимость вязкости или текучести от температуры.[1] Существенным шагом вперед оказалась формула, предложенная А. И. Бачинским,[2] связывающая вязкость с удельным объемом жидкости, а именно:

$$\eta = \frac{c}{v - \omega} \tag{1}$$

где η вязкость, v — удельный объем, ω — постоянная близкая к константе b Ван-дер-Ваальса, c — вторая постоянная. Следовательно, согласно этой формуле предполагается, что вязкость жидкости обратно-пропорциональна свободному объему, который в свою очередь является функцией температуры, и что при термическом расширении увеличивается только свободное пространство, не занятое молекулами, а объем молекул остается постоянным при нагревании. Эту же мысль позднее развивал Мак-Леод,[3] который связал вязкость с коэффициентами расширения жидкости и получил формулу, аналогичную формуле (1), повторив в значительной мере работу А. Бачинского.

Особый интерес приобретает в настоящее время формула А. Бачинского в связи с тем, что она получила в настоящее время теоретическое обоснование двумя различными методами. А. С. Предводителев[4] показал,

[1] См., например, Гатчек «Вязкость жидкостей». Госиздат, 1932, стр. 59.

[2] A. Batschinsky, Ztschr. phys. Chem., 84, S. 643, 1913; — А. И. Бачинский. Врем. Общ. им. Леденцова, № 3, 1913.

[3] D. B. Mc Leod. Trans. Farad. Soc., 19, p. 6, 1923.

[4] A. Predwoditelew. Ztschr. f. Phys., 49, S. 279, 1928.

что можно вывести эту зависимость на основании релаксационной гидродинамики Максвелла и теории флюктуаций. С другой стороны, М. Ф. Широков,[1] пользуясь методом статистической механики и применяя уравнение состояния Ван-дер-Ваальса, также вывел формулу (1), доказав при этом, что ω действительно представляет постоянную Ван-дер-Ваальса.

А. Бачинский проверял это уравнение для 87 жидкостей и нашел, что для неассоциированных жидкостей получается очень хорошее совпадение с опытными данными, и зависимость удовлетворяется даже точнее, чем у интерполяционных уравнений, о которых упомянуто выше. Далее эта формула была проверена с успехом на большом экспериментальном материале в Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

С другой стороны, зависимость вязкости от температуры для ассоциированных жидкостей хорошо выражается формулой второго логарифма, предложенной Ле-Шателье[2] для расплавленных стекол. Эта формула, видоизмененная П. П. Лазаревым[3] и представленная в следующем виде:

$$\lg\lg\frac{\eta}{\eta_0} = a - bt, \tag{2}$$

нашла подтверждение для расплавленных стекол на большом экспериментальном материале, полученном М. Воларовичем и Б. Дерягиным.

Далее Б. В. Дерягин[4] показал, что уравнение (2) хорошо удовлетворяется для спиртов и других ассоциированных жидкостей и не подходит для неассоциированных.

В настоящее время, в связи с развитием вискозиметрии расплавленных веществ при высоких температурах, интересно было посмотреть приложимость формулы А. Бачинского в этой области для таких веществ, которые можно считать неассоциированными.

Имеется, однако, пока очень мало веществ, для которых известны данные о вязкости и плотности в расплавленном состоянии. Из известных в литературе исследований оказалось возможным остановиться на работе Дантума,[5] который измерял вязкость расплавленных солей методом колебания шара. Применение метода колебаний для абсолютных измерений вязкости сопряжено с огромными затруднениями, однако, исследования Дантумы выполнены с большой тщательностью, так что результаты его можно признать достаточно удовлетворительными.

[1] М. Ф. Широков. Журн. физ. химии, 3, стр. 175, 1932.

[2] H. Le Chatelier Ann. de Phys., 3, 5, 1925.

[3] P. Lasareff, C, R., 185 (2), 106.

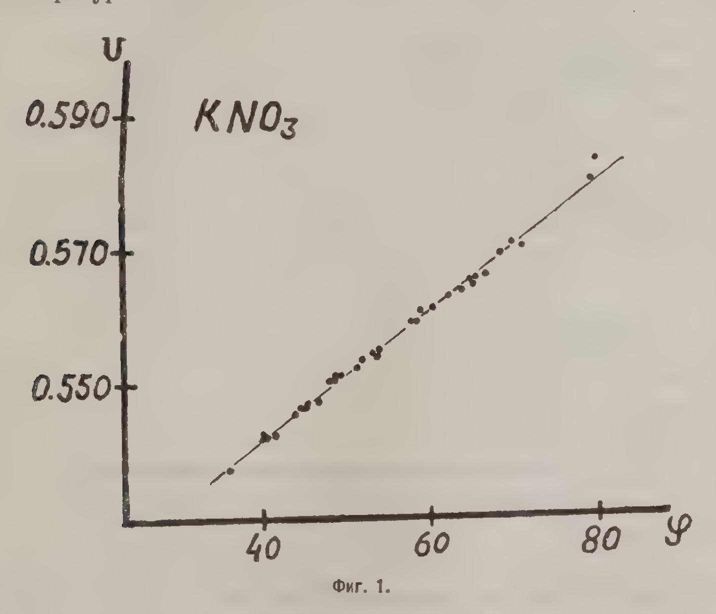
[4] См. акад. П. П. Лазарев. Десять лет Инст. физики и биофизики. М., 1929, стр. 10.

[5] R. S. Dantuma. Ztschr. anorg. Chem., 175, S. 1, 1928

Дантума изучил вязкость четырех расплавленных солей, а именно: KNO_3, $NaNO_3$, $LiNO_3$ и NaCl, и предложил для температурной зависимости вязкости интерполяционную формулу, имеющую четыре постоянных A, B, C и D, а именно:

$$\eta = A + Bt + Ct^2 + Dt^3. \qquad (2)$$

Уравнение это оказывается удовлетворительным в измеренном интервале температур.



Фиг. 1.

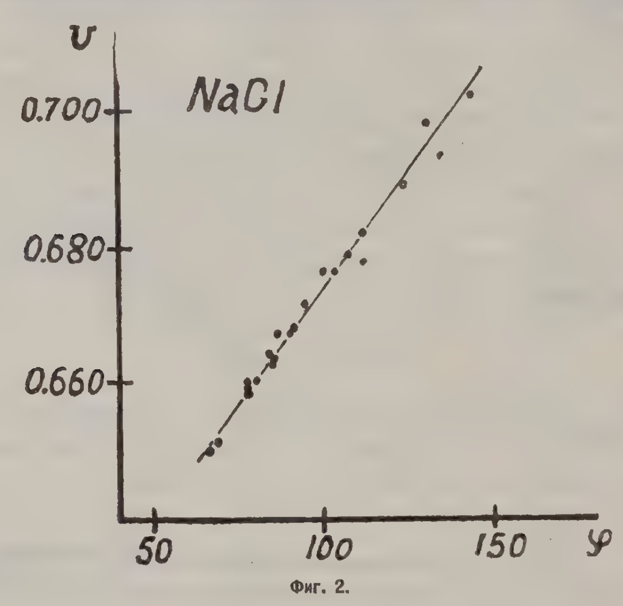
Сравнение с формулой А. Бачинского можно было произвести только для KNO_3 и Na Cl, так как только для этих двух солей в работе Дантумы имеются данные для плотности, откуда можно вычислить удельный объем. Уравнение (1) можно переписать следующим образом

$$v = \omega + c\varphi \qquad (3)$$

где $\varphi = \frac{1}{\eta}$ — текучесть жидкости. Таким образом видно, что между удельным объемом и текучестью должна существовать линейная зависимость.

Результаты пересчетов экспериментальных данных, взятых из работы Дантума, приведены во втором и третьем столбцах таблиц 1 и 2 (см. ниже) и представлены на фиг. 1 и фиг. 2, где по оси абсцисс отложена текучесть, а по оси ординат — удельный объем. Хотя из графиков ясно, что измерения Дантума не отличаются большой точностью, так как точки сильно разбросаны

(особенно для NaCl), однако, в то же время совершенно очевидна прямолинейная зависимость текучести и удельного объема для этих солей в данном интервале. Необходимо подчеркнуть, что температурный интервал достаточно велик 348—542° для KNO_3 и 816—997° для NaCl. Измерения, повидимому, осложняются при более высокой температуре, и поэтому точность результатов для NaCl значительно меньше, чем для KNO_3.



Фиг. 2.

При помощи прямых, проведенных на фиг. 1 и фиг. 2 графическим путем определены постоянные ω и c в уравнении (3), а именно:

$$KNO_3 \quad \omega = 0.50315 \quad c = 0.000958$$
$$NaCl \quad \omega = 0.6066 \quad c = 0.000672$$

Данные для ω представляют значительный интерес в связи с тем, что эта величина, как указано выше, представляет собою с достаточным приближением константу b Ван-дер-Ваальса.

Далее для определения степени точности, с которой удовлетворяется в данном случае формула А. Бачинского, вычислена текучесть φ_B для KNO_3 по уравнению $\varphi_B = \frac{v - 0.50315}{0.000958}$; соответствующие значения приведены в столбце седьмом табл. 1. Далее в столбце восьмом приведена абсолютная погрешность, а в столбце девятом относительная ошибка в процентах. Как видно из таблицы для KNO_3 средняя ошибка составляет всего 0.98%, что

Таблица 1

Азотнокислый калий

$$\varphi_B = \frac{v - 0.50315}{0.000958} \quad \eta = \frac{1}{\varphi_D} = 0.16933 - 0.7418 \cdot 10^{-3}\, t + 1.188 \cdot 10^{-6}\, t^2 - 0.6533 \cdot 10^{-9}\, t^3$$

t°	v	φ экспер.	φ_D	$\Delta\varphi_D$	$\Delta\varphi_D$ %	φ_B	$\Delta\varphi_B$	$\Delta\varphi_B$ %
348	0.5370	36.35	36.25	—0.10	—0.28	35.33	—0.02	—0.06
367	0.5417	39.75	40.32	+0.57	+1.41	40.24	+0.49	+1.23
367	0.5417	39.81	40.32	+0.51	+1.27	40.24	+0.43	+1.07
367	0.5417	40.26	40.32	+0.06	+0.15	40.24	—0.02	—0.05
368	0.5420	40.02	40.53	+0.51	+1.26	40.55	+0.53	+1.31
370	0.5423	41.51	40.97	—0.54	—1.32	40.87	—0.64	—1.56
386	0.5464	45.23	44.60	—0.63	—1.41	45.15	—0.08	—0.17
387	0.5464	45.17	44.86	—0.31	—0.69	45.15	—0.02	—0.04
388	0.5464	44.86	45.14	+0.28	+0.62	45.15	+0.29	+0.64
390	0.5467	46.90	45.54	—1.36	—2.99	45.46	—1.44	—3.16
390	0.5467	45.58	45.54	—0.04	—0.09	45.46	—0.12	—0.26
402	0.5493	48.26	48.28	+0.02	+0.04	48.70	+0.44	+0.90
405	0.5504	48.64	48.95	+0.31	+0.63	49.32	+0.68	+1.38
407	0.5507	49.04	49.45	+0.41	+0.83	49.63	+0.59	+1.19
408	0.5507	48.97	49.68	+0.71	+1.43	49.63	+0.66	+1.33
414	0.5522	51.41	51.02	—0.39	—0.76	51.20	—0.21	—0.42
418	0.5534	51.89	51.99	+0.10	+0.19	52.45	+0.56	+1.07
419	0.5537	53.91	52.30	—1.61	—3.08	52.74	—1.17	—2.22
423	0.5543	53.45	53.25	—0.20	—0.38	53.40	—0.05	—0.09
424	0.5546	54.14	53.41	—0.73	—1.37	53.70	—0.44	—0.82
443	0.5590	58.11	58.41	+0.30	+0.51	58.30	+0.19	+0.33
443	0.5590	58.55	58.41	—0.14	—0.24	58.30	—0.25	—0.43
448	0.5605	59.07	59.49	+0.42	+0.71	58.86	—0.21	—0.36
450	0.5609	60.31	60.17	—0.14	—0.23	60.29	—0.02	—0.03
458	0.5627	62.38	62.11	—0.27	—0.43	62.16	—0.22	—0.35
464	0.5640	64.10	63.73	—0.37	—0.58	63.52	—0.58	—0.91
466	0.5646	65.23	64.18	—1.05	—1.64	64.15	—1.08	—1.68
468	0.5650	64.85	64.64	—0.21	—0.33	64.56	—0.29	—0.45
470	0.5656	65.49	65.31	—0.18	—0.28	65.19	—0.30	—0.46
476	0.5659	66.76	65.53	—1.23	—1.88	65.51	—1.25	—1.91
485	0.5691	68.31	68.97	+0.66	+0.96	68.84	+0.53	+0.77
491	0.5701	71.17	70.42	—0.75	—1.07	69.88	—1.29	—1.85
492	0.5705	69.69	70.67	+0.98	+1.39	70.30	+0.61	+0.87
530	0.5800	79.55	79.05	+0.50	+0.63	80.22	+0.67	+0.84
542	0.5831	79.81	81.10	+1.29	+1.59	83.45	+3.64	+4.36
			Средняя ошибка		±0.94	Средняя ошибка		±0.98

Таблица 2

Хлористый натрий

$$\eta = \frac{1}{\varphi_D} = 0.12578 - 0.1805 \cdot 10^{-3} t + 0.02315 \cdot 10^{-6} t^2 + 0.03858 \cdot 10^{-9} \cdot t^3$$

t°	v	φ экспер.	φ_D
816	0.6497	66.44	66.93
818	0.6510	68.63	67.58
848	0.6583	77.64	77.76
852	0.6591	77.88	78.76
854	0.6596	78.06	79.55
864	0.6627	84.81	83.33
866	0.6636	85.40	84.46
868	0.6640	84.67	85.25
880	0.6671	86.51	89.44
880	0.6671	90.50	89.44
884	0.6680	91.91	90.99
900	0.6730	94.97	98.22
912	0.6761	105.2	103.8
913	0.6761	100.3	104.6
917	0.6775	111.9	106.2
921	0.6784	108.0	107 5
932	0.6317	111.7	112.5
956	0.6887	124.5	124.7
970	0.6930	134.9	131.0
987	0.6983	131.6	137.9
997	0.7018	143.7	141.2

следует признать вполне удовлетворительным, тем более, что интерполяционная формула Дантума с четырьмя постоянными дает среднюю ошибку того же порядка. Для NaCl, как ясно из фиг. 2, расхождение получится значительно больше, что объясняется малой точностью измерений при более высоких температурах.

Как было указано выше, формула А. И. Бачинского удовлетворяется хорошо только для неассоциированных жидкостей. Ассоциированные жидкости обнаруживают на графико $\varphi - v$ кривизну, причем кривая обычно вогнута к оси текучести. В последнее время А. С. Предводителев[1] развил теорию, согласно которой отклонение жидкости от формулы А. И. Бачинского позволяет рассчитать ассоциацию. Кроме того, и другие авторы пытались на основании измерений вязкости вычислять ассоциацию жидкостей.[2]

Поскольку расчеты, приведенные в настоящей работе показали приложимость формулы А. И. Бачинского для KNO_3 и NaCl, эти соли в расплавленном состоянии следует считать неассоциированными. Совершенно другой вид имеют кривые $\varphi - v$ для расплавленных стекловидных веществ, как показали исследования двойной системы $Na_2B_4O_7 - B_2O_3$, выполненные автором этой статьи.[3] Зависимость текучести от удельного объема показывает при высоких температурах прямолинейный ход, но в некоторой точке

[1] Доложено на коллоквиуме Молек. физики в I МГУ, март, 1933.

[2] E. C. Bingham a. J. P. Harrison. Ztschr. phys. Chem., 66, S. 1, 1909. — E. C. Bingham Amer. chem. J., 43, p.302 1910. — E. C. Bingham a. H. L. De Turk. Journ. of Rheology, 3, p. 479, 1932.

[3] М. Воларович. Изв. Акад. Наук СССР, Отд. мат. и ест. наук, № 3, стр. 663, 1933.

обнаруживает резкий загиб вниз. Эта точка, повидимому, связана с процессами ассоциации или полимеризации, которые естественно ожидать у расплавленных стекол.

С другой стороны температурная зависимость вязкости для буры, борного ангидрида и их смесей хорошо удовлетворяет формуле второго логарифма Ле-Шателье, как это показали исследования М. Воларовича и Д. Толстого.[1]

На основании изложенного следует заключить, что для неассоциированных жидкостей формула А. И. Бачинского хорошо удовлетворяется и при высоких температурах, а для ассоциированных жидкостей находит применение формула Ле-Шателье во всех областях температур.

В заключение выражаю свою глубокую благодарность акад. П. П. Лазареву за ряд советов и указаний.

ON THE APPLICABILITY OF BATSCHINSKY'S FORMULA FOR THE VISCOSITY OF MOLTEN SALTS AT HIGH TEMPERATURES

By M. Volarovitch

SUMMARY

It has been found possible to apply Batschinsky's formula

$$v = \omega + c\varphi$$

expressing the relation between fluidity (φ) and specific volume (v), to molten salts KNO_3 and NaCl, whose viscosity has been measured by R. S. Dantuma.

The results of computations are given in fig. 1, from which it may be seen that the relation is very closely obeied by KNO_3 and somewhat less closely by Na Cl.

Table 1 shows that the mean deviation from Batschinsky's formula for KNO_3 is $\pm$ 0.98 per cent. The interpolation formula of R. S. Dantuma, containing four constants, is obeied to within $\pm$ 0.94 per cent.

As Bathscinsky's formula holds good for non-associated liquids only, it follows that in KNO_3 and NaCl in a molten state no association takes place.

For associated liquids Batschinsky's formula cannot be applied and the viscosity — temperatur relation, is successfully represented by H. Le Chatelier's formula modified by P. P. Lasareff:

$$\lg\lg \frac{\eta}{\eta_0} = a - bt.$$

a, b and η_0 are constant and η — viscosity.

---

[1] М. Воларович и Д. Толстой. Изв. Акад. Наук СССР, Отд. физ.-мат. наук, № 9, стр. 897, 1930.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1933
BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS
Classe des sciences mathématiques et naturelles
Отделение математических и естественных наук

О ЗАКОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА КАРБОНИЗАЦИИ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ

П. Т. ДАНИЛЬЧЕНКО и Н. С. СПИРО

(*Представлено академиком* Н. С. Курнаковым)

Реакция морской воды слабо щелочная. В этой воде, как и в речной, а так же в природных соляных рассолах, находятся различные соли и, в частности, карбонаты и бикарбонаты — соли слабой кислоты. В морской воде и рапе соляных озер морского происхождения хлористые соли преобладают над углекислыми, в речной воде — наоборот, карбонаты превалируют над хлоридами. Другими словами, речная вода более карбонизована по сравнению с морской водой или природными рассолами. Для этих вод отношение $\frac{HCO_3 \cdot 100}{Cl}$, которое может быть названо коэффициентом карбонизации является числом характерным и представляет собою величину, показывающую степень карбонизации воды или относительное содержание карбоната (на 100 частей хлора). Пресные воды характиризуются высоким коэффициентом карбонизации, в противоположность морской воде, слабо карбонизованной с низким коэффициентом, обычно не превышающим десятых долей единицы. В речной воде среднего состава коэффициент карбонизации, вычисленный по данным Кларка = 1259, тогда как в воде океана по анализам Диттмара он не превосходит 0.79.

Вопрос о содержании солей угольной кислоты в водах океана имеет свою историю. Этому вопросу посвящено большое число исследований. Еще в 1880 г. Tornoe путем полного химического анализа установил наличие в морской воде некоторого избытка оснований над сильными кислотами или солей угольной кислоты. К аналогичным результатам пришел Диттмар, обрабатывавший материалы известной экспедиции «Челленжер». Оказалось, что в морской воде углекислые соли находятся в форме карбонатов и бикарбонатов, причем последние значительно преобладают над первыми. Присутствует также в морской воде свободная угольная кислота, но содержа-

ние ее обычно не превышает 1% общего количества CO_2. Бикарбонаты в водах мирового океана находятся в равновесии с карбонатами и свободной угольной кислотой, причем это равновесие: $CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightleftarrows Ca(HCO_3)_2$ смещено в правую сторону и настолько, что практически можно считать наличие в морской воде из солей угольной кислоты только бикарбонатов. Обычно, общее содержание в морской воде CO_2 таково, что вся щелочность (щелочной резерв) может быть перечислена на бикарбонат; при этом некоторое количество CO_2 остается даже в избытке.

Кроме солей серной, соляной и угольной кислот в морской воде находятся также бораты, силикаты, фосфаты, соли органических кислот и т. д. Однако, содержание их настолько не велико, что ими можно пренебречь. Все изложенное за редким исключением относится так же к речной воде.

Как известно, при сгущении морской и речной вод в естественных условиях происходит выпадение углекислого кальция и одновременно обогащение другими солями. В свое время К. Шмидт, которому принадлежат многочисленные анализы морской воды, даже пытался определить углекислый кальций количественно, выпаривая морскую воду до известного объема и взвешивая выпавший осадок. Можно таким образом считать, что в водах, непосредственно соприкасавшихся с карбонатом кальция, твердая фаза $CaCO_3$ присутствует также в растворе в форме бикарбоната кальция. Вряд ли здесь следует упоминать, что последнее допущение является условным и далеко не отражает того состояния, в котором находится соль $Ca(HCO_3)_2$ в водных растворах других солей.

Морская вода вместе с находящимся в ней бикарбонатом кальция — представляет жидкую фазу сложного многокомпонентного равновесия: литосфера—гидросфера—атмосфера, в котором литосфера является совокупностью многочисленных и разнообразных по составу и свойствам твердых тел, характеризующихся почти полной нерастворимостью в воде. Только одно из этих веществ довольно распространенное — углекислый кальций, заметно растворяется в воде, содержащей угольную кислоту, $NaCl$, $MgCl_2$, $MgSO_4$ и др. соли. Все остальные легко растворимые соли в общем находятся в гидросфере. Наиболее характерным составом жидкой фазы в системе: литосфера — гидросфера — атмосфера является вода открытых морей и океанов. Как показали исследования Форхгаммера относительный состав воды в отдельных участках океана постоянен, но абсолютное содержание солей колеблется в довольно широких пределах. Другими словами, соотношение между отдельными компонентами солевой массы $\frac{SO_4 \cdot 100}{Cl}$,

$\frac{Mg \cdot 100}{Cl}$, $\frac{NaCl}{Cl}$, $\frac{MgSO_4}{MgCl_2}$ в морях и океанах представляет величину постоянную, связанную с соленостью прямолинейной зависимостью

$$S = by + c$$

где b и c постоянные, y концентрация одного из ионов, S — сумма солей или соленость. Этот вывод, подтвержденный рядом новых исследований на всем протяжении мирового океана, известен под названием закона Форхгаммера. Ему подчиняются в общем почти все моря и океаны. Тем не менее не редко наблюдается, что солевая масса вод, отделившихся от океана, резко изменяет свой состав и настолько, что совершенно утрачивает морской характер. Однако, если учесть, что такие отклонения обычно не охватывают обширных областей мирового океана, можно принять, что все соли сильных кислот, которые находятся в морской воде в преобладающем количестве, в известном смысле следуют закону Форхгаммера. Другими словами, в первом приближении воды различной солености представляют отдельные стадии одного и того же процесса сгущения и разбавления океанской воды. В самом деле даже такие моря, принадлежащие к почти замкнутым морям, как Черное, несмотря на значительную опресненность, почти ничем не отличаются по относительному составу солевой массы от океана. Насколько это так, видно из сопоставления между собой данных табл. 1, заимствованной из работы одного из нас (16).

Таблица 1

Коэффициенты	Океан по Диттмару и Туле	Черное море
Cl'	100.00	100.00
$Ca^{\cdot\cdot}$	2.17	2.51
$Mg^{\cdot\cdot}$	6.81	6.75
SO_4''	13.91	13.44
NCO_3'	0.78	1.94
Br'	0.34	0.32
$Na^{\cdot}$	55.41	54.01
$K^{\cdot}$	1.98	2.37
$\frac{\text{Сумма солей}}{Cl}$	1.812	1.809
$\frac{MgSO_4}{MgCl_2}$	0.67	0.70

Между тем, в отдельных случаях отступления от закона Форхгаммера наблюдаются, причем наиболее отчетливо они проявляются в отношении солей слабых кислот и бикарбоната кальция в особенности. Давно уже замечено, что отношение щелочности к сумме солей $\frac{A}{S}$ приблизительно постоянно лишь для открытых частей океана, удаленных от береговой линии. По мере же приближения к береговой зоне и усиления влияния континентального стока пресных вод это отношение повышается и не редко увеличивается во много раз, тогда как соотношение между другими солями в общем остается постоянным. Коэффициент карбонизации $\frac{HCO_3 \cdot 100}{Cl}$ следовательно не является величиной постоянной и в противоположность другим коэффициентам в отдельных участках мирового океана колеблется в довольно широких пределах. Другими словами, по относительному содержанию солей $\left(\text{напр. } \frac{MgSO_4}{MgCl_2} \quad \frac{SO_4 \cdot 100}{Cl}\right)$ сильных кислот воды мирового океана одинаковы, но различны по степени карбонизации.

Однако, колебания коэффициента карбонизации обусловливаются не только влиянием материковых вод, относительно богатых карбонатами. Изменение этого коэффициента происходит и по другим причинам, главным образом, вследствие выпадения и обратного растворения углекислого кальция. Это указывает на то, что изменение коэффициента $\frac{HCO_3' \cdot 100}{Cl}$ в отдельных участках мирового океана следует другим закономерностям, отличным от установленных Форхгаммером, что коэффициент карбонизации в противоположность другим коэффициентам зависит от солености, и эта зависимость не прямолинейная.

Теоретическое рассмотрение этого вопроса показывает, что при разбавлении морской воды насыщенным раствором бикарбоната кальция относительное содержание солей (на 100 ч. Cl) остается неизменным. Повышается лишь относительная концентрация бикарбоната кальция. Наоборот, при сгущении морской воды в естественных условиях происходит выпадение углекислого кальция и соответственно этому понижение относительного содержания $Ca(HCO_3)_2$ в растворе. Показателем этого процесса сгущения и разбавления морской воды может служить указанный выше коэффициент карбонизации. При сгущении морской воды, но предварительно разбавленной дестиллированной водой, коэффициент карбонизации не изменяется. Но как только раствор становится по отношению $CaCO_3$ насыщенным, указанный коэффициент перестает быть величиной постоянной. По мере концентрирования такого раствора и выпадения углекислого кальция, коэффи-

циент карбонизации непрерывно убывает, асимптотически приближаясь к нулю. В процессе изотермического испарения морской воды или при разбавлении ее водой, насыщенной $Ca(HCO_3)_2$, коэффициент карбонизации изменяется обратно пропорционально солености или изменению объема, если допустить, что на растворимость карбоната кальция присутствие посторонних солей не оказывает заметного влияния. Другими словами, для морской воды, насыщенной по отношению к карбонату кальция, произведение из коэффициента карбонизации на сокращение объема есть величина постоянная. Эта простая зависимость в приложении к водам мирового океана может быть выражена в первом приближении уравнением:

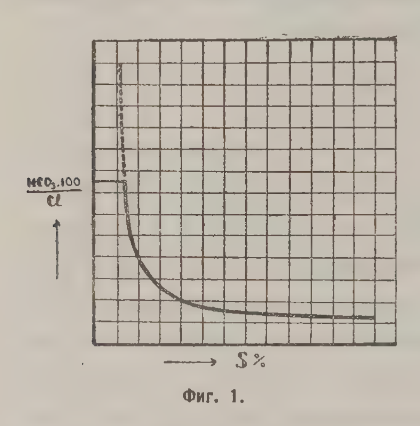
$$K.\ S = \text{Const.}$$

где K — коэффициент карбонизации $= \frac{HCO_3 \cdot 100}{Cl}$, S — сумма солей в процентах — величина, лишь для слабых растворов приблизительно пропорциональная сокращению объема. Зависимость коэффициента карбонизации от S в прямоугольной системе координат выражается в форме равносторонней гиперболы, отнесенной к ассимптотам, как осям координат. Физический смысл приведенного уравнения состоит в том, что по мере увеличения солености и выпадения углекислого кальция, относительное содержание карбоната в растворе $\left(\frac{HCO_3 \cdot 100}{Cl}\right)$ непрерывно убывает, но ни при каких концентрациях остальных солей оно не становится равным нулю. Таким образом, момент окончательного выпадения из раствора углекислого кальция при сгущении морской воды теоретически не существует и о нем можно говорить лишь в известном смысле.

На диаграмме фиг. 1 участок, расположенный между координатными осями и гиперболической кривой, соответствует растворам, ненасыщенным карбонатом кальция; с противоположной стороны к нему прилегает область, принадлежащая растворам, пересыщенным карбонатом кальция. На этой же диаграмме прямая линия, параллельная оси концентраций, изображает графически процесс изотермического испарения морской воды, насыщенной $CaCO_3$. Наконец, точки пересечения этой прямой с изотермой карбонизации соответствует моменту, начала выпадения $CaCO_3$ при изотермическом испарении морской воды, не насыщенной углекислым кальцием.

Графическое построение изотермы карбонизации показывает, что момент выпадения $CaCO_3$ из раствора с большим числом компонентов может быть установлен, с достаточной для практических целей точностью, по коэффициенту карбонизации.

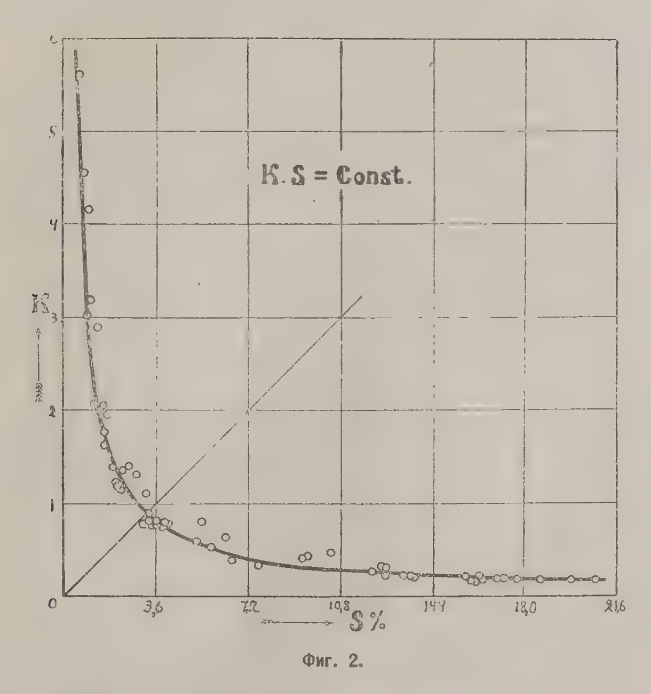
Установленная зависимость между соленостью и степенью карбонизации при изотермическом испарении морской воды в полной мере оправдывается на природных водах. Все те воды мирового океана, которые находятся в непосредственном соприкосновении с твердым углекислым кальцием и углекислым газом воздуха и представляют отдельные стадии одного и того же процесса испарения и разбавления морской воды, следуют закону изменения коэффициента карбонизации. Насколько это так, видно из табл. 2 и фиг. 2, где на оси абсцисс отложена соленость, а на оси ординат коэффициент карбонизации. Приведенный материал, отнюдь не претендующий на исчерпывающую полноту, заключает в себе данные относительно степени карбонизации различных участков гидросферы и в общем охватывает мировой океан в целом. На изотерме карбонизации и в табл. 2 нашли себе отражение главнейшие моря и океаны, крупнейшие реки, пресные и соляные озера. На представленной теоретической кривой в среднем нанесено до 300 отдельных точек,[1] принадлежащих к различным участкам и пунктам мирового океана. На диаграмме фиг. 2 кривая, соединяющая указанные точки представляет собой равностороннюю гиперболу. Как правило, все воды мирового океана укладываются на этой кривой — изотерме карбонизации и, в редких случаях, выходят далеко за ее пределы. В полном согласии с вышеприведенными данными в различных участках мирового океана коэффициент карбонизации воды представляет величину, обратно-пропорциональную солености. В первом приближении для вод морей, океанов, соляных озер и т. д. произведение из коэффицента карбонизации на соленость есть величина постоянная. Как видно из табл. 2, произведение из коэффициента карбонизации на соленость обладает достаточно отчетливо-выраженным постоянством и даже при повышении концентрации солей в несколько десятков раз изменяется не более, чем на 7—10% от среднего значения $K \cdot S$ — 3.0. В приведенных морях и океанах $K \cdot S$ в среднем равняется 2.8, в соляных озерах — 3.1.



Фиг. 1.

[1] К сожалению, обширность материала не позволила нам привести всех тех цифровых данных, которые имелись в нашем распоряжении. При вычислении коэффициента карбонизации мы ограничились средними значениями солености, хлора и щелочности из большого числа отдельных определений.

При принятом изображении океану на диаграмме соответствует точка, лежащая вблизи вершины гиперболы, где прямая линия, проходящая через начало координат, пересекается с изотермической кривой. По обе стороны от этой прямой располагаются опресненные моря и соляные озера, причем первые на отрезке, лежащем между вершиной гиперболы и осью ординат, а вторые — преимущественно на другой ветви гиперболы. Иначе изотерма карбонизации охватывает все стадии сгущения и разбавления океанской воды.



Фиг. 2.

Совокупность приведенных данных указывает на то, что воды мирового океана в общем насыщены по отношению к карбонату кальция и кроме того находятся в равновесии с твердым углекислым кальцием и с газообразной фазой — углекислым газом воздуха. Этот последний вывод, непосредственно вытекающий из закона изменения коэффициента карбонизации в различных участках мирового океана, вполне согласуется с исследованиями Шлезинга, по мнению которого содержащейся в морской воде бикарбонат кальция находится в равновесии с углекислым газом воздуха. При увеличении парциального давления углекислого газа в атмосфере концентрация в морской воде угольной кислоты повышается, соответственно этому

часть твердого углекислого кальция переходит в раствор. Наоборот, при понижении концентрации углекислого газа в воздухе часть бикарбоната разлагается и переходит в твердую фазу, а известное количество углекислого газа вновь возвращается в атмосферу. В результате, система, выведенная из состояния равновесия, вновь возвращается к нему. Океан по Шлезингу, таким образом, является рычагом, который регулирует содержание CO_2 в атмосфере. Этим объясняется, почему содержание CO_2 в воздухе почти постоянно и колеблется в весьма узких границах. К этим же выводам независимо от Шлезинга пришел Гамберг на основании своих исследований.

Между тем по вопросу, насыщена ли вода океана карбонатом кальция для данной температуры и парциального давления CO_2 или нет, мнения исследователей расходятся. Одна группа исследователей считает, что в морской воде содержится недостаточное количество углекислого кальция для его непосредственного выделения, т. е. морская вода не насыщена $CaCO_3$, наоборот, другая — принимает, что вода насыщена углекислым кальцием и находится в равновесии с твердой фазой и CO_2 воздуха. Андерсон, напр., утверждает, что морская вода содержит такое же количество углекислого кальция, как и искусственно приготовленная вода, насыщенная карбонатом кальция. Такого же взгляда придерживается Е. Руппин, Е. Cohen и M. Raken, а так же Джонстон и Вильямсон. По мнению последних, поверхностные слои океана, за исключением областей полярных и течений холодной воды, т. е. более теплые части океанических вод насыщены углекислым кальцием, в целом же океан не насыщен им.

По Cohen'у и Raken'у в искусственной морской воде растворяется при 15°C, 0.1264 г $CaCO_3$ на литр или в пересчете на HCO_3 ион 0.1541 г. R. Irvine и G. Young в морской воде, насыщенной углекислым кальцием нашли 0.125 г $CaCO_3$ или 0.1524 г HCO_3. Эти экспериментальные данные в пределах погрешностей опыта согласуются с непосредственными определениями карбоната кальция (щелочности) в различных участках мирового океана. По Диттмару содержание карбоната кальция в 144 пробах воды, собранных экспедицией «Челленжер» в среднем равняется 0.124 г $CaCO_3$ на кг или в пересчете на HCO_3 — 0.1517 г. Аналогичные данные относительно содержания карбонатов (щелочности) в морях и океанах приводятся В. Бреннеке, Б. Шульцем, К. Наттерером, Ледером, С. В. Бруевичем и др. На основании представленного в табл. 2 (см. стр. 1147—1448) материала среднее содержание карбоната кальция в морской воде можно принять 0.148‰ HCO_3.

Таблица 2

№№ по порядку	Название	Cl%	S%	HCO_3'%	$K = \frac{HCO_3 \cdot 100}{Cl}$	$K \cdot S$	Примечание
1	Мировой океан	1.932	3.500	0.0152	0.79	2.8	В. Диттмар, среднее из 130 опр.
2	Атлантический океан	2.015	3.646	0.0152	0.75	2.7	В. Бреннеке, ср. из 19 опр.
3	Индийский океан	1.998	3.610	0.0150	0.75	2.7	Н. И. Чигирин, частное сообщ.
4	Южный ледовитый океан	1.871	3.379	0.0143	0.76	2.6	В. Бреннеке, вблизи ледяной глыбы.
5	Северное море	1.937	3.500	0.0145	0.75	2.6	Б. Шульц.
6	Баренцево море	1.924	3.476	0.0140	0.73	2.6	С. В. Бруевич, ср. из 4 опр.
7	Средиземное море	2.146	3.877	0.0157	0.73	2.8	К. Наттерер, ср. из 40 опр.
8	Адриатическое море	1.859	3.359	0.0162	0.87	2.9	Ледер, ср. из 19 опр.
9	Мраморное море	2.091	3.777	0.0162	0.77	2.9	К. Наттерер. ср. из 33 опр.
10	Черное море	1.006	1.819	0.0190	1.89	3.4	М. А. Добржанская, верх. слой воды, ср. из 16 опр.
11	Азовское море	0.454	0.840	0.0207	4.56	3.8	Е. С. Бурксер.
12	Каспийское море	0.529	1.226	0.0220	4.16	5.1	А. Лебединцев, Данильченко, Спиро, Чигирин, ср. из 3 опр.
13	Гнилое море	0.609	1.128	0.0194	3.18	3.5	Е. С. Бурксер.
14	Будакское озеро	1.374	2.508	0.0190	1.38	3.5	Все представленные озера принадлежат к Черноморскому бассейну. Данные относительно оз. 14—25, 27, 42—62 заимствованы у Е. С. Бурксера. Содержание Cl, S и HCO_3' в пробах 24, 25, 14—17, 29 выражено в г на 100 куб. см рапы. Содержание хлора в морской воде №№ 2—12 вычислено из у-ния $S = 1.835Cl + 0.02$ сумма солей в рапе солян. озер 26, 28—41 вычислена на основании определений хлора из у-ния $S = 1.805Cl + 0.03$. № 27 — ср. из 6 опр.
15	Сухой лиман	2.210	3.991	0.0171	0.76	3.0	
16	М. Аджалицкий лиман	1.789	3.354	0.01952	1.09	3.6	
17	Старое озеро	24.526	35.332	0.0156	0.06	2.1	
18	Керлеутское озеро	17.678	29.216	0.01335	0.07	2.0	
19	Молочный лиман	2.934	5.871	0.0168	0.57	3.4	
20	Утлюцкий лиман	0.876	1.539	0.0154	1.75	2.6	
21	Оз. Сивашик	1.556	2.281	0.0201	1.29	3.6	
22	Соленое озеро	2.234	4.079	0.0165	0.74	3.0	
23	Красное озеро	5.804	10.60	0.0259	0.45	4.9	
24	Малое озеро	11.51	22.52	0.0178	0.15	3.5	
25	Большое озеро	3.525	6.379	0.0220	0.62	4.0	
26	Мойнакское озеро м.	4.21	7.599	0.0130	0.31	2.4	
27	Слепое озеро	0.927	1.801	0.0150	1.63	2.9	
28	Доунзлавское озеро	5.349	9.674	0.0217	0.40	3.9	
29	Сакское озеро	7.058	12.74	0.0191	0.27	3.5	

(Продолжение)

№№ по порядку	Название	Cl%	S%	HCO_3%	$K = \frac{HCO_3 \cdot 100}{Cl}$	$K \cdot S$	Примечание
30	Чокракское озеро	10.93	19.73	0.0167	0.15	3.0	Данные относительно озер 26, 28—41 заимствованы из работы П. Т. Данильченко и Н. С. Спиро. Готовится к печати.
31	Оз. Ойбур	9.05	16.34	0.0166	0.18	2.9	
32	Оз. Отар-Мойнак	6.87	12.40	0.0175	0.26	3.1	
33	Оз. Кипчак	1.285	2.319	0.0172	1.34	3.0	
34	Оз. Сасык	0.751	1.355	0.0216	2.88	4.0	
35	Оз. Карлав	2.998	5.412	0.0229	0.77	4.2	
36	Оз. Джарылгач	0.404	0.729	0.0227	5.62	4.1	
37	Оз. Караджинское	1.190	2.147	0.0207	1 17	2.5	
38	Оз. Бакал	3.049	5.503	0.02331	0.76	4.2	
39	Маякское озеро	2 189	3.952	0.0189	1.15	4.4	
40	Оз. Ак-Мечеть	0.118	0.212	0.0265	22.54	4.6	
41	Оз. Ялы Мойнак	5.21	9.404	0.0144	0.28	2.6	
42	Соленое озеро	0.517	1.106	0.0157	3.01	3.3	
43		1.115	2.162	0.0154	1.38	3.1	
44		0.815	1.710	0.0167	2.05	3.4	
45		0 697	1.436	0.0143	2 06	2.8	
46		1.148	2.291	0.0141	1.23	2.8	
47		3.166	5.939	0.0163	0.52	3.1	
48		3.605	6 901	0.0128	0.35	2.4	
49	Куяльницкий лиман	6.690	10.84	0.0152	0.23	2.5	
50		7.034	11.38	0.0135	0.19	2.1	
51		7.361	11.92	0.0150	0.21	2.5	
52		7.448	12.03	0.0150	0.20	2.4	
53		7.538	12.20	0.0145	0.19	2.3	
54		7.627	12.35	0.0139	0.18	2.2	
55		8.681	14.28	0.0170	0.20	2.8	
56		9 061	14.84	0.0158	0.17	2.6	
57		9.366	15.43	0.0158	0.17	2.6	
58		9.500	15.62	0.0158	0.17	2.7	
59		9.786	16.04	0.0168	0.17	2.7	
60		10.35	16.86	0.0168	0.16	2.7	
61		8.80	14.35	0.0143	0.16	2.2	
62		7.87	14.31	0.0112	0.12	1.7	
	Среднее	—	—	0.0159	—	3.0	

При выводе зависимости между степенью карбонизации и соленостью воды мы исходим из допущения, что на растворимость углекислого кальция присутствие посторонних солей не оказывает заметного влияния. Поскольку воды океана следуют закону изменения коэффициента карбонизации, это указывает на то, что в водах разной солености абсолютное содержание HCO_3 должно быть одинаковым.

Этот последний вывод, как и предыдущий, на природных водах оправдывается, но в известной степени. Как видно из табл. 2 и 3 (см. стр. 1447 и 1450) абсолютное содержание карбоната кальция в водах мирового океана приблизительно одинаково и лишь в общем не зависит от солености. В известном смысле абсолютное содержание карбоната кальция так же не зависит от состава солевой массы воды. Во всяком случае этой зависимости на изотерме карбонизации не усматривается, между тем на этой изотерме нанесены точки, соответствующие соляным озерам самого разнообразного происхождения и состава. Более того, содержание карбоната кальция даже в водах таких рек, как Волга, Днепр, Рейн, Эльба и пр. почти то же, что и в морской воде и рапе соляных озер. Действительно, среднее содержание HCO_3' в речной воде и пресных озерах достигает 0.0149%, и точно совпадает с средним содержанием HCO_3 в морях и океанах — 0.0148%, приближаясь к средней концентрации $HCO_3 = 0.0173\%$ в соляных озерах. Другими словами, для природных вод, находящихся в равновесии с углекислым кальцием и углекислым газом воздуха, в общем можно принять, что

$$[HCO_3] = \text{Const.}$$

где HCO_3 концентрация гидрокарбонатного иона.

Тем не менее по данным многочисленных авторов растворимость карбоната кальция в воде зависит от ряда причин, и прежде всего от температуры, концентрации угольной кислоты, присутствия посторонних солей и т. д. В чистой, не содержащей угольной кислоты воде растворимость углекислого кальция незначительна, в присутствии угольной кислоты, равно как и ряда солей, она заметно повышается. В воде, содержащей угольную кислоту, растворимость $CaCO_3$ с повышением температуры понижается. При прочих равных условиях растворимость $CaCO_3$ зависит от природы и концентрации посторонних солей. В частности, по Камерону растворимость $CaCO_3$ в водных растворах хлористого натрия по мере увеличения концентрации NaCl вплоть до 50.62 г в литре повышается, несмотря на одновременное уменьшение коэффициента абсорбции углекислого газа. Напротив, при дальнейшем увеличении концентраций хлористого натрия

Таблица 3

№	Название	Сумма солей в %	HCO_3 %	Примечание
1	Оз. Верхнее	0.0160	0.0154	1—12 и 14, 15 по Кларку
2	Оз. Мичиган	0.0118	0.0119	
3	Оз. Эри	0.0133	0.0121	
4	Оз. Пейпус	0.0106	0.0128	
5	Р. св. Лаврентия	0.0134	0.0127	
6	Р. Миссисипи	0.0178	0.0136	
7	Р. Миссури	0.0426	0.0208	
8	Р. Темза	0.0266	0.0214	
9	Р. Рейн	0.0166	0.0179	
10	Р. Межи	0.0299	0.0179	
11	Р. Эльба	0.0205	0.0188	
12	Р. Волга	0.0255	0.0141	В. П. Радищев
13	Р. Днепр	0.0212	0.0163	Г. А. Шептицкий
14	Р. Днестр	0.0197	0.0130	
15	Р. Нил	0.0174	0.0110	
	Среднее	—	0.0149	

растворимость понижается. В результате в пределах от 9.72 до 147.4 г $NaCl$ на литр, растворимость $CaCO_3$ заметно не изменяется. Примерно такое же влияние на растворимость карбоната кальция оказывают $MgCl_2$, $MgSO_4$, Na_2SO_4 и др. соли. В присутствии сернокислого кальция растворимость $CaCO_3$ в растворах $NaCl$ понижается. Кроме того, растворимость углекислого кальция в растворах поваренной соли приблизительно того же порядка, что и в морской воде с одинаковым содержанием хлоридов.

Так, по Cohen'у, Raken'у, Ирвину и Юнгу в морской воде растворяется 0.125—0.126 г $CaCO_3$ на литр, а в растворе $NaCl$ при той же концентрации ионов хлора 0.134 г на литр (Камерон).

Очевидно, говорить о том, что содержание карбоната кальция в водах различной солености одинаково, можно лишь в известном смысле, поскольку на растворимость углекислого кальция изменение концентрации других солей заметного влияния не оказывает.

Закон изменения коэффициента карбонизации указывает еще на то, что воды океана по составу лежат в поле кристаллизации углекислого кальция. В связи с этим повышение температуры, понижение парциального давления CO_2 в атмосфере, испарение, равно как и вымерзание воды смещают равновесие $Ca(HCO_3)_2 \rightleftarrows CaCO_3 + H_2O + CO_2$ слева направо и вызы-

вают в море выпадение известного количества карбоната кальция. Кристаллизация углекислого кальция в море протекает изохорически — при постоянном объеме и неизменном уровне воды. Этот грандиозный по размерам и могущественный по энергии процесс имеет место во всех участках гидросферы и охватывает почти $^4/_5$ всей земной поверхности. При испарении воды в морях и океанах весь тот углекислый кальций, который вносится реками и неизменно теряется сушей, выкристаллизовывается из раствора. Особенно интенсивно выпадение и отложение углекислого кальция происходит в областях наиболее энергичного испарения воды. Вследствие этого углекальциевые массы в земной коре перемещаются от полюсов к экватору. Другими словами изохорическое испарение морской воды управляет перемещением углекальциевых масс в литосфере на ряду с другими процессами.

Мы не затрагиваем здесь другой стороны явления изохорического испарения морской воды. Вопросу отложения углекислого кальция в морях и океанах посвящено большое число исследований, литературный обзор которых представлен в работах А. Д. Архангельского, Я. В. Самойлова и Л. В. Пустовалова. Этот вопрос в геологии давно считается решенным. Мнения почти всех исследователей сходятся в том, что выделение углекислого кальция из морской воды происходит преимущественно биогенным путем, и только небольшая группа вместе с Arn. Heim'ом считает, что это не так, и рассматривает отложения $CaCO_3$ как химические осадки. Впрочем и сторонники биогенного углекислого кальция не отрицают возможности в отдельных участках мирового океана образования химических осадков углекислого кальция. Так, Я. В. Самойлов и Л. В. Пустовалов, придавая исключительно высокое значение организмам в образовании карбонатных пород, считают, что углекислый кальций в морях отлагается не только биогенным путем, но и химическим. Вопрос следовательно сводится к сравнительной оценке этих двух путей выделения углекислого кальция из морской воды.

В морях и океанах отлагается не только углекислый кальций, который вносится реками, но и тот, который образуется в морской воде из других соединений. По Дж. Меррею в море углекислый кальций образуется в результате минерализации азотсодержащих органических веществ из сернокислого кальция по реакции:

$$CaSO_4 + (NH_4)_2CO_3 = CaCO_3 + (NH_4)_2SO_4$$

Аналогичное превращение сернокислого кальция в карбонат наблюдается при окислении (минерализации) органических веществ в отсутствии кисло-

рода воздуха. Этот биохомический процесс протекает в присутствии соединений железа согласно уравнениям:

$$CaSO_4 + C = 2CO_2 + CaS$$
$$CaS + 2CO_2 + 2H_2O = Ca(HCO_3)_2 + H_2S$$
$$Ca(HCO_3)_2 + CaS = CaCO_3 + H_2S$$
$$Fe_2O_3 + 3H_2S = 2FeS + S + 3H_2O$$

В Черном море последний процесс ведет к накоплению больших количеств сероводорода. Наконец, образование углекислого кальция в море происходит, когда морская вода смешивается с водой, содержащей ионы HCO_3 в избытке по сравнению с $Ca^{\cdot\cdot}$ или в которой находится на ряду с $Ca(HCO_3)_2$ бикарбонат магния и отсутствует сернокислый кальций. В этом случае реакция протекает между сульфатом кальция и бикарбонатом магния по уравнению:

$$CaSO_4 + Mg(HCO_3)_2 \rightleftarrows Ca(HCO_3)_2 + MgSO_4$$

Поскольку морская вода по составу лежит в поле кристаллизации углекислого кальция, бикарбонат магния смещает в море равновесие $Ca(HCO_3)_2 \rightleftarrows$ $\rightleftarrows CaCO_3 + H_2O + CO_2$ слева направо и вызывает переход части углекислого кальция в твердую фазу. Все эти процессы, равно как и жизнедеятельность организмов ведут не только к образованию карбоната кальция, но и препятствуют накоплению в морской воде других соединений кальция.

Обычно принимается, что источником кальция в море является только речная вода, это не совсем так. В море непрерывно вносится большое количество почвенных и глинистых частиц, содержащих по К. К. Гедройцу в поглощающем комплексе ионогенный кальций. При попадании таках частиц в море, некогда поглощенный на суше кальций вытесняется калием или натрием и переходит в раствор, в результате морская вода обогащается солями кальция.

$$Ca^{\cdot\cdot}\left[\begin{matrix}\text{поглощающ.}\\ \text{комплекс}\end{matrix}\right]'' + NaCl \leftrightarrows Na_2^{\cdot\cdot}\left[\begin{matrix}\text{поглощающ.}\\ \text{комплекс}\end{matrix}\right]'' + CaCl_2$$

И в этом случае вследствие повышения в морской воде концентрации ионов кальция равновесие $Ca(HCO_3)_2 \rightleftarrows CaCO_3 + H_2O + CO_2$ нарушается и происходит выпадение углекислого кальция. Между прочим, указанный источник накопления кальция в море до сего времени не учитывался, а между тем в кальциевом балансе он играет не последнюю роль. Можно таким образом вместе с Кларком считать, что в море отлагается углекислого кальция больше, чем его вносится реками в растворенном виде.

Процесс выделения углекислого кальция из морской воды, несмотря на его видимую простоту и повсеместное распространение, в действитель-

ности не так прост, как это можно было предполагать. В морской воде, в взвешенном состоянии углекислый кальций находится в форме арагонита и кальцита. Растворимость этих двух форм не одинакова. Арагонит как неустойчивая форма $CaCO_3$ растворяется лучше, чам устойчивая модификация — кальцит. Прежде всего не ясно, относительно какой модификации насыщена морская вода. Кроме того, выделяется ли из морской воды — при изохорическом испарении только чистый углекислый кальций или вместе с двойной солью $MgCO_3.CaCO_3$ или, наконец, в виде твердого раствора карбоната магния в углекислом кальции. Относительно второго вопроса известно, что в море обычно углекислый кальций выпадает всегда с примесью карбоната магния. В осадочных горных породах карбонат магния всегда является неизменным спутником углекислого кальция, что вполне согласуется с экспериментальными исследованиями Форхгаммера, согласно которым при обработке морской воды при температуре 15—20° раствором бикарбоната кальция, карбонат кальция выделяется с примесью 2.2% $MgCO_3$. Примерно в тех же условиях, но при нагреваиии выделение карбоната магния в виде основной соли наблюдал А. Вериго. Акад. Н. С. Курнаков на основании своих опытов, произведенных над рапой Керлеутского озера при температуре 20—30° считает, что содержащиеся в озерной рапе магниевые соли реагируют с бикарбонатом кальция речных вод по уравнению

$$2Ca(HCO_3)_2 + MgSO_4 = CaMg(CO_3)_2 + CaSO_4 + 2CO_2 + 2H_2O,$$

причем магний выделяется в виде двойной соли — доломита.

С другой стороны опыты А. Е. Рыковскова, Н. М. Нещадимовой-Неклявз и Шкателева, произведенные в последнее время указывают на то, что углекислый магний в присутствии сернокислого кальция неустойчив и реагирует с ним по уравнению:

$$MgCO_3 + CaSO_4 \leftrightarrows CaCO_3 + MgSO_4.$$

Возможно, что аналогично ведет себя и доломит. Наконец, согласно исследованиям А. Е. Рыковскова и Н. М. Нещадимовой-Неклявз тройная точка совместного сосуществования фаз $MgCO_3$, $CaCO_3$, $CaSO_4$, $2H_2O$ во взаимной системе

$$MgCO_3 + CaSO_4 \leftrightarrows CaCo_3 + MgSO_4$$

лежит при таких концентрациях сернокислого магния, которые не свойственны даже высоко концентрированной рапе соляных озер, не говоря уже о морской воде. А. Е. Рыковскову и Н. М. Нещадимовой-Неклявз оптическим путем среди твердых фаз, отвечающих упомянутой тройной точке, доломита обнаружить не удалось, равно как и карбоната магния

в растворах, ненасыщенных сернокислым магнием. Тем не менее, как это следует из опытов Форхгаммера и акад. Н. С. Курнакова и подтверждается многочисленнейшими анализами всевозможных известняков, карбонат кальция из морской воды всегда выделяется с примесью небольшого количества карбоната магния.

Все это вместе взятое указывает на то, что при изохорическом испарении морской воды в мировом океане выпадет не чистый углекислый кальций, а повидимому твердый раствор кирбоната магния в углекислом кальции.

Другими словами, морская вода по химическому составу лежит не в поле кристаллизации углекислого кальция, а в области твердых растворов карбоната магния в углекислом кальции. Насколько это так, покажут опыты, которые мы предполагаем поставить в ближайшее время.

Принимая, что морская вода по составу лежит в поле кристаллизации карбоната кальция или твердого углекальциевого раствора, надо иметь в виду, что мировой океан насыщен по отношению углекислого кальция лишь в общем. В соответствии с этим в отдельных участках гидросферы мы нередко сталкиваемся с отклонениями от равновесного состояния. В ряде случаев в одних областях мирового океана наблюдается ненормально высокое содержание карбоната кальция или состояние пересыщения, в других наоборот — равновесие смещается в противоположном направлении в сторону образования ненасыщенных растворов или вод с пониженным содержанием карбоната кальция. Наиболее яркими примерами таких отклонений могут служить моря, вдающиеся вглубь материка — Балтийское, Черное, Азовское, изолированное Каспийское море и глубинные воды океана. Последние, залегающие ниже 3000 м. саж. не насыщены по отношению к карбонату кальция, в них обычно выделения углекислого кальция не происходит, а даже наблюдается растворение известковых раковин и других карбонатных образований. В этих водах, находящихся в условиях высокого давления, пониженной температуры и повышенной концентрации угольной кислоты, карбонатное равновесие смещено в сторону ненасыщенных растворов. Ненормально низкое содержание бикарбоната кальция наблюдается в водах Балтийского моря, где концентрация HCO'_3 по данным К. Буха, Шульца и Руппина почти вдвое ниже, чем в водах смежного Северного моря, насыщенных бикарбонатом кальция. Так, в Северном море концентрация HCO'_3 достигает 0.01452, тогда как в Финском и Ботническом заливах содержание HCO'_3 обычно не превышает 0.00671, 0.00604% HCO'_3.

Не редко смещение карбонатного равновесия в сторону образования ненасыщенных растворов происходит в реках, протекающих по изверженных

ным породам; напр. реки Скандинавии. Влиянием их, между прочим, объясняется ненормально низкое содержание бикарбоната кальция в водах Балтийского моря.

В Каспийском, Черном и Азовском морях карбонатное равновесие, наоборот, смещено в сторону пересыщения. Содержание в воде этих морей бикарбоната кальция по сравнению с океаном значительно повышено. В Каспийском море напр. концентрация HCO_3 достигает в среднем 0.0220%, в Черном — 0.0190%, в Азовском — 0.0207%, тогда как в открытом океане содержание HCO_3 равняется 0.0148%. В названных морях это пересыщение носит длительный и весьма стойкий характер. Как показывают анализы, произведенные в разное время, содержание в этих морях карбоната кальция не изменяется на протяжении ряда десятилетий. Вода Черного моря пересыщена по отношению к карбонату кальция на 39%. В Каспийском же море это пересыщение достигает 49% от изменяемой величины — 0.0148% HCO_3. Мы пытались выделить из воды Каспийского и Черного морей избыток карбоната кальция и подойти к равновесию со стороны пересыщенных растворов, но безрезультатно. После полуторамесячного непрерывного взбалтывания с порошком кальцита, при периодической смене газообразной фазы, заметного понижения концентрации HCO_3' (щелочности) в воде констатировать не удалось. Это указывает на определенную склонность карбоната кальция к образованию пересыщенных растворов, а вместе с тем объясняет, почему в указанных морях пересыщение воды карбонатом кальция носит столь длительный характер. Согласно нашим опытам выпадение карбоната кальция наблюдается лишь при взбалтывании морской воды, содержащей вдвое или втрое больше $CaCO_3$, чем океанская вода. По мере же приближения к равновесию скорость выпадения $CaCO_3$ замедляется и настолько, что установить аналитически понижение концентрации HCO_3' в жидкой фазе за короткий промежуток времени не представляется возможным. И. Е. Орлов, изучавший кинетику разложения бикарбоната кальция в воде и растворах электролитов, указывает, что разложение $Ca(HCO_3)_2$ или выпадение $CaCO_3$ происходит лишь в присутствии порошка мрамора и протекает как реакция второго порядка в пограничном слое между твердой и жидкой фазами. По опытам А. Е. Орлова, разложение пересыщенных растворов бикарбоната кальция не происходит ни при удалении из жидкости свободной угольной кислоты током воздуха, пропущенного через раствор едкой щелочи, ни при продолжительном взбалтывании с индифферентными твердыми веществами, напр. морским песком, не содержащим $CaCO_3$. Выпадение $CaCO_3$ из рас-

твора наблюдается только после введения известного количества твердого углекислого кальция при одновременном удалении из жидкой фазы свободной угольной кислоты и протекает с заметной скоростью лишь в начале разложения бикарбоната. Все это вместе взятое достаточно хорошо согласуется с тем, что наблюдается в Каспийском, Черном и Азовском морях в действительности.

Наконец, в ряде отдельных случаев нарушение карбонатного равновесия в сторону пересыщения происходит в реках, пресных и соляных озерах, а так же в других участках гидросферы. Возможно, что в некоторых случаях повышенное содержании карбоната кальция (щелочный резерв) обусловливается наличием в воде и рассолах не всегда учитываемых солей жирных кислот нафтенатов и пр.

В заключение отметим, что нарушение карбонатного равновесия наблюдается также в природных высококонцентрированных рассолах, генетически связанных с морем. В этих рассолах, как установили вначале опыты П. Т. Данильченко и М. И. Равича, а затем исследования В. П. Ильинского, В. П. Радищева присутствует основная углемагниевая соль переменного состава, типа $x MgCO_3 y MgO z H_2O$.

По мере сгущения таких рассолов, выпадении углекислого кальция не происходит, а наблюдается лишь изменение состава указанного соединения. Данные электрометрического титрования, определения щелочности и связанной угольной кислоты показывают, что в концентрированных рассолах содержание гидрата окиси магния по сравнению с карбонатом тем значительнее, чем выше концентрация рапы. Концентрированные рассолы, не содержащие солей кальция обычно закону изменения коэффициента карбонизации не подчиняются, обладают высокою щелочностью и лежат вне поля кристаллизации углекислого кальция.

ВЫВОДЫ

1. Коэффициент карбонизации $\frac{HCO_3 . 100}{Cl}$ в отдельных участках гидросферы колеблется в пределах от 1259 в речной воде и до 0.79—0.15 в морской воде и рапе соляных озер.

2. Коэффициент карбонизации представляет собой величину, обратно пропорциональную солености.

3. Для воды океана произведение из коэффициента карбонизации на соленость есть величина постоянная. $K \cdot S = \text{Const}$; где K — коэффициент карбонизации, S — соленость.

4. Закону изменения коэффициента карбонизации подчиняются почти все воды океана, находящиеся в непосредственном взаимодействии с твердым углекислым калцием и углекислым газом воздуха.

5. Воды морей, океанов, рек, пресных и соляных озер в общем насыщены по отношению к карбонату кальция.

6. В отдельных участках гидросферы содержание карбоната кальция приблизительно одинаково и почти не зависит от солености.

7. Океану для данных термодинамических условий свойственна постоянная и вполне определенная величина $[HCO_3]$ — 0.0148, где $[HCO_3]$ концентрация гидрокарбонатного иона в процентах.

8. Вода океана по составу лежит в поле кристаллизации углекислого кальция или твердого раствора карбоната магния в углекислом кальции.

9. При испарении морской воды весь тот углекислый кальций, который вносится в море реками и неизменно теряется сушей, выделяется из раствора.

10. При испарении морской воды и непрерывном выделении из раствора углекислого кальция карбонатные массы в земной коре постепенно перемещаются от полюсов к экватору, т. е. в области наиболее интенсивного испарения морской воды.

11. Испарение морской воды вместе с другими процессами управляет перемещением углекальциевых масс в литосфере.

12. Источниками углекислого кальция в море являются не только реки, но и глинистые и почвенные частицы, содержащие иногенный кальций в поглощающем комплексе.

13. Процессы, протекающие в море, препятствуют накоплению кальция в растворе.

14. В море выделяется из воды больше углекислого кальция, чем его вносится реками.

15. В отдельных случаях в океане наблюдается смещение карбонатного равновесия в сторону ненасыщенных или пересыщенных растворов $CaCO_3$. В Черном и Каспийском морях вода пересыщена карбонатом кальция, в Балтийском — ненасыщена.

Крымский научно-исследовательский
и Крымский педагогический институты.

ЛИТЕРАТУРА

1. F. W. Klarke. The data of Geochemistry. Washington, 1920.
2. W. Dittmar. Reports on Researches into the Composition of Oceanian Water collected by H. M. S. Challenger during the Jears 1873—76.
3. K. Natterer. Tiefsee-Forschungen im Marmora-Meer auf S. M. Schiff «Taurus» im Mai 1894.

4. K. Natterer. Chemische Untersuchungen im östlichem Mittelmeer.
I. Reise S. M. Schiffcs «Pola» im Jahre 1890.
II. Reise S. M. Schiffes «Pola» im Jahre 1891.
III. Reise S. M. Schiffes «Pola» im Jahre 1892.
Berichte der Kommission für Erforschung des östlichen Mittelmeeres.
5. E. Ruppin. Die Alkalinität des Meerwassers Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen Bd. 11, Kiel, 1909.
6. W. Brennecke. Die ozeanographischen Arbeiten der Deutschen Antarktischen Expedition 1911—1912. Arch. d. Deutschen Seewarte, 39, 1921.
7. B. Schulz. Hydrographische Beobachtungen, insbesondere, über die Kohlensäure in der Nord- und Ostsee im Sommer 1921. Arch. d. Deutschen Seewarte, Bd. 40, 1922; Bd. 41, 1922.
8. K. Buch. Über die Alkalinität, Wasserstoffionenkonzentration, Kohlensaüre und Kohlensaüretension im Wasser der Finnland umgebenden Meere. Finnländische Hydrogr.-Biol. Untersuch., № 14, Helsingfors, 1917.
9. F. K. Cameron. Equilibrium between Carbonates and Bicarbonates in Aqueous Solution. Journ. of physical Chemistry, vol. 5.
10. С. В. Бруевич. Гидрохимические работы Государственного Океанографического института в Баренцовом море в 1927—30 гг. Докл. перв. сессии Гос. Океаногр. инст.
11. Е. Н. Крепс. О равновесии угольной кислоты в морской воде. Изв. Гос. Гидрол. инст., вып. 19.
12. М. А. Добржанская. Щелочность воды Черного моря. Изв. Акад. Наук СССР, 1930.
13. Дж. Мерей. Океан. Гос. Изд. Украины, 1923.
14. Я. В. Самойлович и К. В. Пустовалов. К литологии карбонатовых осадочных пород. Тр. Инст. прикл. минер. и металл., вып. 26, 1926.
15. П. Т. Данильченко и Н. И. Чигирин. К вопросу о происхождении сероводорода в Черном море. Тр. особ. Зоол. лаб. и Биол. ст. Акад. Наук СССР, сер. П, № 10, 1926.
16. П. Т. Данильченко. Материалы по гидрохимии соляных озер Черноморского бассейна. Донузлавское озеро. Тр. Крымск. научно-исслед. инст., т. III, вып. II, 1932.
17. Е. Бурксер. Солонi озера та лимани Украiни. Всеукраiньска Академия Наук. Тр. Физ.-матем. вiдд., т. VIII, вып. I.
18. А. Д. Архангельский. Верхнемеловые отложения востока Европейской России. Материалы для геологии России, т. XXV, 1912.
19. В. И. Вернадский. Очерки геохимии, Лгр., 1927.
20. В. И. Вернадский. Живое вещество в химии моря.
21. А. Е. Рыковсков и Н. М. Нещадимова-Неклявз. Исследование реакции Гайдингера. Тр. перв. совещ. хим. Гл. Геол.-разв. упр. 3—12 II, 1931 г. Москва—Ленинград.
22. И. Е. Орлов. Общие основы для лабораторного исследования и оценки агрессивного действия почвенных вод. Агрессивность естественных вод. Сборник под ред. И. Е. Орлова. М. 1932 г.
23. И. Е. Орлов. Об истинной мере агрессивности естественных вод. М. 1932.
24. И. Е. Орлов. О влиянии нейтральных электролитов на агрессивность воды по отношению к карбонату кальция. Агрессивность естественных вод. М. 1932.
25. В. Шкателов. Заметка о получении серной кислоты и ее солей помощью углекислого магния. Журн. прикл. хим., т. IV, 1931.
26. В. П. Радищев. О колебаниях химического состава волжской воды у Саратова. Раб. Волжск. биол. ст., VIII, № 4—5, 1926.
27. Г. А. Шептицкий. Материалы по гидрологии и гидрохимии р. Днепра у г. Херсона. Тр. Гос. Ихтиол. опытн. ст., т. III, вып. 2, 1928.
28. Н. С. Курнаков и С. Ф. Жемчужный. Магниевые озера Перекопской группы. Изв. Акад. Наук, 1917, VI.
29. Е. М. Крепс. Изв. Гос. Гидрол. ин., № 16, 1926 г.
30. Gmelin-Kraut. Handbuch der anorganischen Chemie, Bd. II, Abt. 2, Lief. 7, Heidelberg, 1909.
31. П. Т. Данильченко и М. И. Равич. О щелочности природных рассолов морского происхождения. Тр. Крымск. научно-исслед. инст., т. I, вып. 2, Симферополь, 1927.
32. В. П. Ильинский. Щелочность соляных рассолов Сакского озера. Журн. хим. пром., № 7—8, 1928.
33. В. П. Радищев. Материалы по гидрохимии соляных озер Каспийского бассейна I. К гидрохимии озера Эльтон. Раб. Волжск. биол. ст., т. XI, № 1, 1930.
34. R. Irvine und G. Young. Jahresber. Chem., 1889, 457.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР 1933
BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS
Classe des sciences mathématiques et naturelles
Отделение математических и естественных наук

ОНКОФОРОВЫЕ ПЛАСТЫ В ЗАКАВКАЗЬИ

В. В. БОГАЧЕВА

(*Представлено академиком* **А. А. Борисяком**)

А. Г. Эберзин предложил мне осмотреть коллекцию с очень оригинальною фауною, открытою О. С. Вяловым в Уплисцихе близ г. Гори (Грузия). За любезное разрешение опубликовать эти данные, приношу им обоим глубокую благодарность.

В довольно слабом песчанике во множестве содержатся раковины, ядра и отпечатки двух видов конгерий, двух видов кардиид, масса очень оригинальных двухстворчатых *Oncophora*, *Melanopsis* и изредка — *Helix*.

При первом взгляде общий облик фауны поражает своим понтическим характером, но *Oncophora* сразу определяет более глубокий возраст.

Oncophora до сих пор не была известна в пределах Кавказа, даже вообще — Союза, или, правильнее сказать, в Понто-Каспийском миоценовом бассейне. Стратиграфическое положение этих пластов — ниже чокракского горизонта, от которого онкофоровые пласты отделяются еще значительною толщею немых песчаников. Они прослежены на восток (вниз по Куре) на протяжении 20 км.

Онкофоровые пласты в Западной Европе выделены в самостоятельный горизонт в 1882 г.[1]

А. Ржегак описал их фауну и указал стратиграфическое положение — в основании второго средиземноморского яруса.[2] Именно:

Моравия:	Бавария и Швабия:
Баденский тегель	Горизонт с *Helix silvana*
Онкофоровые пласты	Онкофоровые пласты (Кирхберг)
Зеленая нижнемиоценовая глина	Морские моласы

[1] Rzehak. Verhandl. d. naturforsch. Vereines in Brünn, XXI.

[2] Rzehak. Die Fauna d. *Oncophora*-Schichten Mährens. Verhandl. d. naturforsch. Vereines in Brünn, XXXI, 1892 (93).

Oncophora (ὁ ὄγκος — крючок, зазубрина стрелы, также — тяжесть, бремя). Род *Oncophora* Rzeh. Циттелем включается в семейство *Veneridae* и поставлен рядом с *Tapes*, (по Ф. Зандбергеру), тогда как в «Manuel de Conchyliologie» П. Фишера — сближается с род. *Donax*, впрочем без описания, с простою ссылкою: «d'aprèz Tryon» Характеристика у Циттеля: *Oncophora* Rzeh., как *Tapes*, но мантийная бухта очень короткая (неглубокая), замок состоит — в правой створке из двух, в левой — из трех нерасщепленных расходящихся зубов; передний мускульный отпечаток ограничен сзади выдающимся валиком — складкою (eine wulstige Leiste).

(Характеристика эта не точна, так как средний зуб всегда бывает явственно насеченным, как у *Tapes*).

Внутренний валик-складка особенно характерен. Он идет из-под макушки к брюшному краю, доходя до мантийной линии. На ядрах он отпечатывается всегда в виде явственной узкой и глубокой борозды. А. Биттнер дает также характеристику замка:

Левая створка: второй зуб более сильный, слегка раздвоенный или двудольный (zweiloppig), третий — косой и очень слабый.

Правая створка: 2 узких зуба, передний немного сильнее. Лигаментные складки (нимфы) сильные, развиты на подобие зубов.

Фауна онкофоровых пластов:

Oncophora socialis;

Cardium moravicum, *sandbergeri, gracile, kolenati, brusinai,*

Cardium cf. *edule* (? M. H., non L.);

Congeria subclavaeformis, *leucippe*, *rzehaki*, *andrusovi*, *subamygdaloides.*

Unio oslovanensis, aff. *eseri* Krauss, *Anodonta* sp.

Staliopsis moravica, gracilis;

Hydrobia makowskii;

Vivipara oncophorae;

Melanopsis intermedia, pseudoscalaria;

Limnaea cf. *socialis*;

Planorbis kittli, cf. *dealbatus* A. Br., *subdealbatus*, *amiculus*

Ancylus sp.

Neritina crenulata Klein, *austriaca*, *boettgeri.*

Почти все эти виды — новые (установлены Ржегаком, Rz.)

Вместе с ними в верхних горизонтах встречаются, но в малом количестве экземпляров или единичными, частью — потертыми, — морские

формы: *Arca clathrata* Defr.; *Leda fragilis* Chem.; *Leda nitida* Brocc., *Pecten oslovanensis* Rz., *Ostrea cochlear* Poli, *Venus plicata* Gm., *Venus vindobonensis* May., *Circe minima* Montf., *Lucina miocaenica* Mich., *Lucina incrassata* Dub., *Lucina multilamella* Desh., *Chama gryphoides*, *Fragilia fragilis* L., *Syndesmia apellina* Ren., *Corbula gibla* Ol., *Ervilia pusilla* Phil., *Teredo, Siliqua* (3 sp.), *Cistella cistellula* S. Wood — (брахиопода), сравнительно небольшое число гастропод, корненожки. В общем, фауна эта, хотя и морская, все же не заключает в себе характерных крупных морских форм и, по составу, приближается к фауне несколько опресненных бассейнов.

Уже в следующем году А. Биттнер напечатал критические замечания[1] по поводу статьи Ржегака об онкофорных пластах в Венском бассейне. Статья написана в резко полемическом тоне и сопоставляет мнения ряда геологов о стратиграфическом значении и эквивалентности отдельных горизонтов морских среднемиоценовых горизонтов Венского бассейна, но все же окончательного решения вопроса не дает.

Между тем, для нас это чрезвычайно важно, так как онкофоровые пласты должны пролить новый свет на стратиграфическое положение чокракских пластов.

В небольшой статье А. Биттнер (Über die Gattung *Oncophora*. Verhandl. d. K. K Geolog. R.-Anstalt 1893 № 6 p. 141) рассматривает все, до того времени известные виды: 1) *Oncophora dubiosa* (= *Saxicava dubiosa* M. H.), 2) *Oncophora socialis* Rz., 3) *Oncophora gümbeli* (M. H.).

Первый вид геологически древнее второго, но я не согласен с Биттнером в отнесении описанной и изображенной М. Гернесом формы (стр. 27, табл. 3, рис. 5) к роду *Oncophora*.

Биттнер вообще полагает, что онкофоровые пласты не представляют единого горизонта, и что различные виды *Oncophora* характеризуют солоноватоводные отложения различного возраста.

Сопоставляются онкофоровые пласты с пластами Кирхберга, в которых, кроме пресноводных *Unio*, *Paludina*, *Bythinia*, *Melanopsis*, изобилуют конгерии (*Congeria amygdaloides* Dunk., *claviformis* Krauss, *subbasteroti* Ammon) и кардииды (*Cardium sociale* Krauss, *solitarium* Krauss, *reconditum* K. May., *kraussi* K. May., *lovaricum* Ammon, *jugatum* Krauss), — все новые виды, с ослабленным замком, уклоняющиеся от обычных миоценовых форм и имеющие понтический облик.

[1] A. Bittner. Besprechung von A. Rzehak «Zur Stellung d. Onkophoraschichten im Miocän d. Wiener Beckens». Verhandl. d. K. K. Geolog. R.-Anstalt, 1894, № 13.

Слои с этою фауною распространены в западной и восточной Баварии, переходят и в Швейцарию. Пласты с *Oncophora* известны в Венском бассейне, в Моравии и Галиции. Будучи связаны с горизонтом Грунда, они все же не могут быть точно сопоставлены с ним.

Мы не можем основываться только на литературных данных, в которых острая полемика нередко лишь затемняет вопрос. Мы обратимся к Кавказской находке О. С. Вялова.

Кроме *Oncophora*, мы имеем в этих пластах два типа *Melanopsis*: один тип — конических гладких *Melanopsis* S. str. и *Fagotia*, другой тип — *Lyrcaea*. Далее следуют два или три вида *Congeria*, сходные с *C. amygdaloides* (?), *C. rzehaki* Brus. и *C. subclaviformis* Rz. Наконец, два вида *Cardium*, многоребристых, с ребрами, имеющими строение ребер понтических кардиид, с высокою макушкою и видоизмененным замком — настоящие *Limnocardium*.

Ассоциация этих кардиид с конгриями и меланопсидами придает всей фауне понтический облик, но залегают они значительно ниже чокракского горизонта.

До сих пор ни в южной России (на Украине, на Дону), ни в Крыму, ни на Кавказе не было открыто онкофоровых пластов. С другой стороны, на Украине не было открыто и сколько-нибудь значительной фауны меланопсид.

В связи с новыми представлениями о тектонических взаимоотношениях Кавказа к горным системам Западной Европы, а именно — после выяснения невозможности соединять Крым и Главный Кавказский хребет с Балканами, нам нетрудно уже восстановить путь миграции онкофоровой фауны в Закавказьи.

Начавшиеся в миоцене горообразовательные движения савской и штирийской фаз подготовляли рядом с возвышающимся горным сооружением депрессию, и если Альпийская система с Малыми Карпатами и Бескидами была окаймлена с севера опресненными бассейнами, по которым *Oncophora* и онкофоровая фауна могли расселяться к востоку, то в эту же эпоху Главный Кавказский хребет и Малый Кавказ должны были испытывать аналогичные влияния, иметь аналогичные движения и наконец сформировать Закавказскую депрессию. Впоследствии продолжающееся движение Карпат надвинуло их на украинскую кристаллическую плиту и закрыло подкарпатскую депрессию. Те же движения изолировали сарматское море. Выполнение складками нижнемиоценового бассейна (частичная регрессия в геосинклинали) вызвало чокракскую трансгрессию в Крымо-Кавказской области.

Изоляция миоценового моря Кавказа от миоценового моря Персии (где отлагались урмийские известняки) объясняется существованием пластической, поднимающейся зоны Малого Кавказа (Армении). Эта зона характеризуется развитием солоноватоводных бассейнов с *Cyrena*. К ним должны присоединяться как самый молодой член — онкофоровые пласты Закавказья.

Это — новая страница в истории долины р. Куры, которую я принял теперь на учет и недостаток которой раньше особенно остро чувствовался мною.

В 1913 г. я начал эту работу статьею «Проблема долины р. Куры» (Изв. Кавказ. музея, т. VIII). Впоследствии, уже устарелый очерк был напечатан без моей корректуры и без сообщения мне, — а он требовал исправлений, дополнений, — в вып. 6 «Материалов к общей схеме использования водных ресурсов Кура-Араксинского бассейна», Тифлис, 1932.

На Кавказе и в южной части Донецкого бассейна, на р. Крынке мы находим фауну рыб (селедочки — *Harengula*, *Clupea ventricosa* H. Myr., бычки — *Gobius multipinnatus* H. Myr., *Gobius ilovajskii* mihi, *Umbra prisca* mihi) пластов Кирхберга. Хотя А. Н. Криштофович и считает флору пластов р. Крынки сарматскою, с сильною примесью китайских элементов, я склонен понижать возраст ее до пластов Конки, так как немного лишь южнее, близ слияния Крынки с Миусом я нашел уже *Spaniodontella*. Это я отмечаю для лучшей фиксации возможных эквивалентов пластов Кирхберга.

Точного сопоставления чокракских пластов с горизонтами западноевропейского миоцена мы еще не имеем. Мы говорим о том, что в чокракских пластах есть ряд форм 2-го средиземноморского яруса, и даже встречающихся в 1-м средиземноморском, но нас смущает эвксинская фация, совершенно особый облик всей фауны. Чокракские отложения прослежены теперь вдоль южного склона Главного Кавказского хребта, от Черного моря до Кахетии, также открыт местами (на Арагве и в Кахетии) тарханский горизонт с *Pecten denudatus* и *Cryptodon sinuosus*. Выше обычно залегают спаниодонтовые слои. Постепенно развертывая, хотя и в очень неблагоприятных условиях случайных наездов, не имея средств на планомерное изучение, — я и мои сотрудники (А. И. Шишкина-Богачева) выясняем стратиграфию закавказского олигоцена. От приабонских слоев Бакуриани, через нижний и средний олигоцен окрестностей сел. Ахалкалаки б. Горийского уезда, мы подходим к корбулевым слоям Тори и Ахалциха (слои с *Corbula helmerseni* G. Mikh, *Congeria, Cardium*, *Cyrena semistriata*,

Melanopsis, *Neritina*, *Gadus*, sp. остатками флоры). К сожалению, еще немы палеонтологически марганцевая формация Чиатури и многие другие толщи. Для нижнего миоцена мы не имеем ничего. Возможно, что эта эпоха в Закавказьи была континентальною.

Чокраская трансгрессия распространялась быстро, спаниодонтовое море трансгрессивно отлагало свои осадки непосредственно на кристаллических породах или на меловых известняках Дзирульского массива.

Под Зестафони (б. ст. Квирилы) серые песчаники со *Spaniodontella* заключают интереснейшую фауну *Melanopsis*, *Paludina*, *Planorbis*, *Helix*, а также кости дельфинов (*Champsodelphis*) и листья двудольных.

Нет сомнения, что чокракскому морю предшествовало образование солоноватоводных бассейнов, опресняемых реками, стекавшими с Кавказа, и не только с Главного Хребта, но и с Малого Кавказа, представлявшего уже настолько возвышенную страну, что она не была покрыта чокракской трансгрессией: ни в Ахалцихском бассейне, ни в Триалетских горах, ни к югу от линии Казах — Ганджа (б. Елисаветполь) — нигде нет осадков миоценового моря.

Таким образом, онкофоровым пластам остается место под чокракским горизонтом. Этим самым мы маркируем подошву чокракского горизонта в смысле параллелизации его с горизонтами миоцена Западной Европы.

На изучение онкофорового горизонта Грузии должно обратить внимание и не откладывать этого исследования.[1]

Мне кажется, что идея Э. Зюсса о третичных «Каспиях», о солоноватоводных бассейнах со своеобразною фауною, аналогичною фауне нынешнего Каспийского моря, будет подтверждена еще рядом открытий, и одним из таких «Каспиев» был онкофоровый бассейн.

Корбулевые пласты, онкофоровые, спаниодонтовые, верхнесарматские мактровые — это все явления одного порядка.

Мне особенно часто приходилось работать в области развития подобных отложений, но я не имел еще средств для детального изучения их. И в данном случае я спешу отметить интереснейший факт, не надеясь на возможность лично для себя — заняться разработкою вопроса.

Баку, 18 апреля 1933 г.

---

[1] В 1933 г. автор проследил онкофоровые пласты от Сурама почти до Мцхета. Фауна их изучена и описана А. И. Шишкиною.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1933
BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS
Classe des sciences mathématiques et naturelles
Отделение математических и естественных наук

О ЗАКОНАХ НАКОПЛЕНИЯ БИОМАССЫ В СМЕШАННОЙ КУЛЬТУРЕ ДВУХ ВИДОВ ДРОЖЖЕЙ

Г. Ф. ГАУЗЕ

(*Представлено академиком* П. П. Лазаревым)

Уравнение конкуренции двух видов за общую пищу впервые было предложено Вито Вольтерра[1] (1926) исходя из того, что относительная скорость роста $\frac{1}{N}\frac{dN}{dt}$ является линейно уменьшающейся функцией числа особей N (см. Вольтерра, 1931, стр. 96). Таким образом, для двух конкурирующих видов мы получим:

$$\left.\begin{aligned}\frac{dN_1}{dt} &= [\varepsilon_1 - \gamma_1 (hN_1 + kN_2)]\ N_1\\ \frac{dN_2}{dt} &= [\varepsilon_2 - \gamma_2 (hN_1 + kN_2)]\ N_2\end{aligned}\right\} \tag{1}$$

Уравнение (1) было подвергнуто дальнейшему анализу со стороны Лотка[2] (1932), который предложил новый метод его разрешения и указал на трудности, возникающие при $h \neq h_2$ и $k_1 \neq k_2$. Одновременно Гаузе[3] (1932) и Лотка (1932) указали на совпадение уравнения (1) с принципом Ферхгельста[4] (1838), причем Гаузе предложил писать его в такой форме:

$$\left.\begin{aligned}\frac{dN_1}{dt} &= \varepsilon_1 N_1 \frac{K_1 - (N_1 + \alpha N_2)}{K_1}\\ \frac{dN_2}{dt} &= \varepsilon_2 N_2 \frac{K_2 - (N_2 + \beta N_1)}{K_2}\end{aligned}\right\} \tag{2}$$

[1] V. Volterra. 1926. Mem. Accad. Nazion. dei Lincei, ser. VI, t. II. См. также. «Sur la theorie mathématique de la lutte pour la vie», Paris, 1931.

[2] A. J. Lotka. 1932. Journ. Wash. Acad. Sci., 22, p. 461.

[3] G. F. Gause 1932. Journ. Exper. Biol. (British), 9, p. 389.

[4] P. F. Verhulst 1838. Corr. math. et phys. publ. par A. Quetelet, 10, p. 113.

где N_1 — масса, ε_1 — коэффициент возрастания, K_1 — предельная масса первого вида; α и β — коэффициенты борьбы за существование. Так как коэффициенты ε_1, ε_2, K_1, K_2 нам известны на основании изучения свойств двух видов растущих отдельно, то из уравнения (2) можно вычислить α и β и произвести приближенное численное интегрирование по способу Рунге-Кутта.

В настоящей работе показывается, что при конкуренции двух видов дрожжей, изученной в лабораторных условиях, коэффициенты α и β, вычисленные на основании экспериментальных данных по накоплению биомассы видов согласно уравнению (2), полностью совпадают с коэффициентами борьбы за существование, найденными совершенно независимым путем, и таким образом доказывается выполнимость уравнения (2) для межвидовой конкуренции у дрожжевых клеток.

Опыты были поставлены с двумя видами дрожжей, *Saccharomyces cerevisiae* раса XII и *Schizosaccharomyces kephir*, растущими в стерильных условиях отдельно и вместе в 10 см³ питательной среды (технику опытов см. у Гаузе 1932 — 1 и 1932 — 2). При культивировании дрожжей в эрленмейнровских колбах при 28° С мы получили данные, помещенные в табл. 1 (в среднем из 84 отдельных опытов).

Таблица 1

Возраст в часах	Наблюдавшаяся масса [2]		Вычисленная по уравнению (2) масса	
	Saccharomyces	*Schizosaccharomyces*	*Saccharomyces*	*Schizosaccharomyces*
10	1.60	1.10	1.30	1.70
20	4.40	2.80	4.15	2.90
30	5.50	3.00	5.30	3.10
35	5.40	3.20	5.45	3.11

Вычисление производилось с эмпирическими коэффициентами борьбы за существование $\alpha = 1.25$; $\beta = 0.850$. Ограничивающим рост фактором в наших условиях является не исчерпание пищевых запасов, а накопление продукта жизнедеятельности — этилового алкоголя (оба вида вызывают спиртовое брожение), и коэффициенты α и β могут быть совершенно независимо определены, исходя из продукции алкоголя (определялся пикнометрически), приходящегося на единицу массы у обоих видов. У *Saccharomyces*

[1] G. F. Gause. 1932 — 1. Quart. Rev. of Biol., 7, p. 27.

[2] Определенная методом центрифугирования и выраженная в делениях мицетокрита.

продукция алкоголя на единицу массы составляет 0.207%, а у *Schizosaccharomyces* 0.258%. По этим данным степень влияния второго вида на первый окажется равной $\alpha_1 = \frac{0.258}{0.207} = 1.25$, а первого на второй $\beta_1 = \frac{0.207}{0.258} = 0.80$. Совпадение этих коэффициентов с найденными нами ранее α и β показывает, что для конкуренции двух видов дрожжей действительно выполняется уравнение борьбы за существование (2), которое до сих пор являлось чисто теоретическим выражением.

Москва. Зоологический институт Университета
Лаборатория экологии.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1933
BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS
Classe des sciences mathématiques et naturelles
Отделение математических и естественных наук

ОБРАЗОВАНИЕ РАС У *SPOROBOLOMYCES PHILIPPOVI* n. sp.

Н. А. КРАСИЛЬНИКОВ

(*Представлено академиком* **Г. А. Надсоном**)

Расщепление дрожжевых организмов на новые расы наблюдали некоторые авторы еще в конце XIX столетия (Hansen, Beijerinck). В более позднее время и в современной литературе мы находим только единичные работы по этому вопросу.

Из этих немногих литературных источников следует указать на работы Надсона и Филиппова (9), которые на протяжении нескольких лет получали богатый экспериментальный материал. Воздействуя лучистой энергией (лучи Рентгена, радия, ультрафиолетовые) на различные виды грибков, авторы получили многочисленные расы мутанты или сальтанты, которые по своим культуральным, морфологическим и физиологическим свойствам резко отличаются как от исходной культуры, так и между собой. Они получили расы у дрожжей *Torulopsis*, *Sporobolomyces*, *Nadsonia* и у грибов *Mucoraceae* и др. Эти расы на протяжении нескольких лет и многих тысяч генераций сохраняют стойко свои особенности.

Образование новых форм без какого-либо специально воздействующего фактора, в условиях лабораторного культивирования или в производстве наблюдается довольно часто.

Hansen (5), Lindner (8), Beijerinck (1) отмечали факты изменения дрожжевых форм в пивоваренном производстве и в лабораторной обстановке; недавно Brierley (2), Hansen and Smith (6) наблюдали эти факты у *Botrytis*. Расщепление культур также отмечалось у грибов *Fusarium*, *Helminthosporium* и др.

В настоящей работе приводится экспериментальный материал по расщеплению дрожжевого грибка из рода *Sporobolomyces*. Грибок был выделен мной из слизетечения дуба (*Quercus pedunculata*) Западной области (бывш. Калужской губ.) в 1928 г.

По своим морфологическим особенностям грибок резко отличается от описанных ранее в литературе, а потому выделяется мной в особый вид, который в честь заслуг и талантливых исследований в микробиологии безвременно погибшего Г. С. Филиппова я называю *Sporobolomyces Philippovi*.

Привожу краткую характеристику этого грибка.

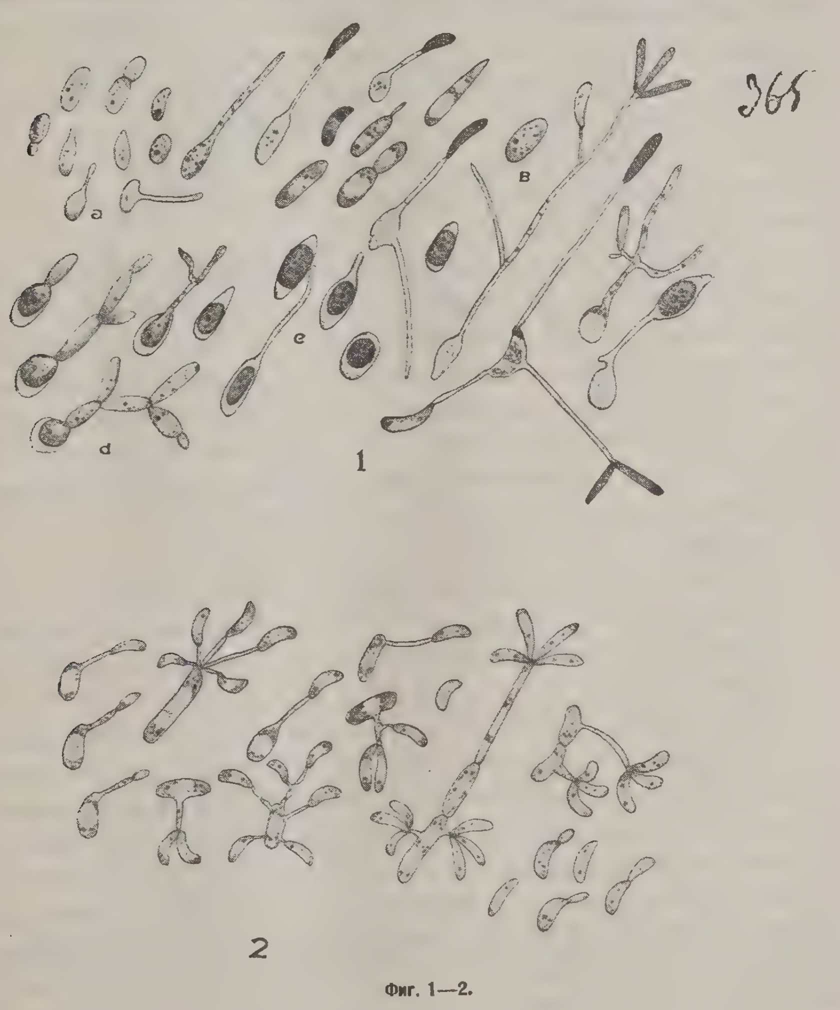
В течение первых двух месяцев обычного культивирования на сусло-агаре грибок давал рост как типичный представитель рода *Torulopsis*, не обнаруживалось при этом никаких признаков, что указывало бы на споробoломицес. Колония была серовато-белого цвета, слизистая, стекающаяся вниз пробирки. Клетки овальные 5—7.5 × 4—5 μ с толстой слизистой капсулой (Фиг. 1 *a*), и очень редко, в старых культурах—с короткими отростками. В дальнейших пересевах было обнаружено слабое порозовение культуры и образование ореола дочерних колоний вокруг материнской. После этого культура была выделена из одной клетки, и дальнейшие наблюдения велись только с ней.

На сусло-агаре (сусло 7.5% Ball. + 2% агар, pH = 6.4) колония грибка имеет сероватобелый цвет со слабо розоватым оттенком, полужидкой, слизистой консистенции, блестящей поверхности. В старых культурах, вокруг основной колонии образуется масса дочерних, от чего поверхность огара становится как бы посыпанной пылью, а сама колония слегка розовеет. Клетки сначала овальные со слизистой капсулой, (Фиг. 1 *a*) потом появляются на поверхности их отростки разной длины, от 5 до 100 μ. Отростки часто ветвятся и на концах образуют клетки — конидии, по 1—3 на каждом (Фиг. 1 *b*). Зрелые конидии цилиндрической формы с округленными концами 8—10 × 2 μ. Плазма зрелых конидий густая, однородная, резко преломляет свет, они не отбрасываются и не могут служить источником зеркального изображения. Никогда не наблюдалось образование их на воздушных нитях.

В отличие от отстреливающихся конидий называю их «вегетативными» конидиями. Кроме них в той же культуре образуются воздушные конидии или «споры». По своей форме и виду плазмы последние резко отличаются от «вегетативных» конидий. Обычно они продолговато-овальной формы, почковидноискривленные (Фиг. 1 *b*). Плазма светлая с вакуолью и 2—3 капельками жира внутри; конидии легко отваливаются, отлетают на некоторое расстояние и при развитии образуют дочерние колонии. Чаще всего конидии формируются на более коротких отростках, причем содержимое (плазма) последних сохраняется даже в очень старых культурах, тогда как отростки, на которых вырастают вегетативные конидии совершенно пусты: содержимое их

уходит полностью на образование конидий. Между описанными видами конидий имеются промежуточные формы.

Кроме конидий в старых культурах встречаются образование клеток типа хламидоспор. В больших овальных или продолговатых клетках плазма



Фиг. 1—2.

отстает от оболочки, сжимается и покрывается собственной, вторичной оболочкой. Величина таких клеток 10—15 × 7—8 μ (фиг. 1c).

Прорастание конидии и хламидоспор наблюдалось в висячей капле сусла. Оно протекает обычным способом: конидии слегка разбухают и становятся овальными, на конце, потом появляется бугорок, который вытяги-

вается и превращается либо в дрожжевидную клетку, либо в длинный, ветвящийся отросток. Точно так же прорастают и хламидоспоры (фиг. 1 *d*).

На других питательных средах грибок дает следующие особенности.

Сусло желатина. Растет хорошо. Колония белого цвета с гладкой блестящей поверхностью, вокруг нее образуется зона дочерних колоний. Клетки овальные с многочисленным клювовидными короткими отростками, на концах которых сидят по 1—3 воздушных конидий. Встречаются изредка хламидоспоры. Желатину разжижает грибок на 6—7 день.

Жидкое сусло. Растет в осадке и на поверхности в виде кольца и пленки. Пленка толстая, сероватобелого цвета. Клетки с длинными отростками и конидиями на концах их.

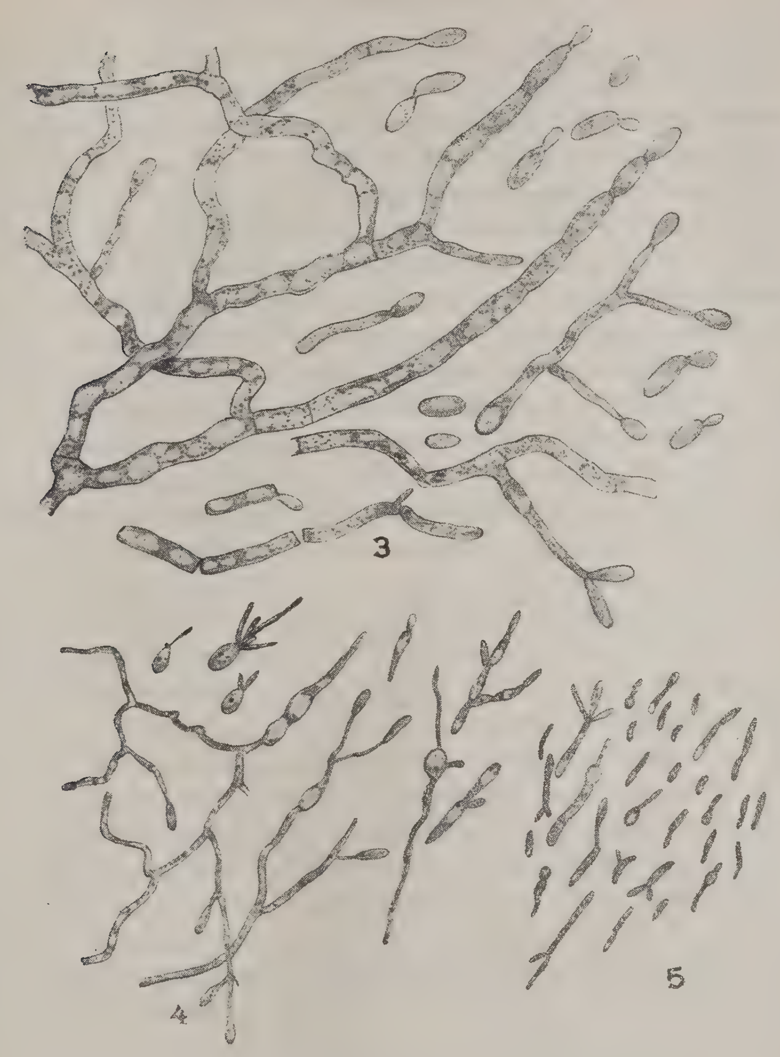
На моркови и картофеле растет удовлетворительно. Бродильной способностью грибок не обладает. Температура для развития такова: минимум 3°, оптимум 25°, и максимум 41°. При 40° развивается удовлетворительно, причем поверхность колонии бархатистая, матовая вследствие образования большого количества воздушных конидий. Отбрасывания их однако не происходит; зеркального изображения не получается также при 37°, а при 25° слабое. Оптимальная температура для отстреливания конидий, а следовательно, образования зеркального изображения = 15—20° Ц.

Систематическое положение.

Как известно Kluyver и van Niel (7) выделили грибки, способные отстреливать конидии и образовать зеркальное изображение в отдельный род — *Sporobolomyces,* а *Ciferri* (3) включил этот род в семейство *Nectaromycetaceae.*

Из описанных в литературе видов *Sporobolomyces* не указано ни одного, который образовал бы вегетативные конидии и хламидоспоры. Описываемый грибок резко отличается также своей способностью образовать богатое разнообразие форм, среди которых, как будет указано ниже, имеются настоящие мицелиальные культуры. Если же в основу диференцировки взять признак Kluyver и Niel, т. е. величину воздушных конидий и физиологические особенности, то наш грибок ближе всего примыкает к *Sporobolomyces salmonicolor.* Однако отождествлять их нет достаточных оснований. Проводимая таблица дает основные черты сходства и различия этих двух организмов:

Sporobolom. salmonicolor Kluyver and Niel	*Sporobolomyces Philippovi* n. sp.
1. Клетки с удлиненными иногда ветвящимися отростками (стеригмами) до 25 μ длины.	1. Клетки с длинными нитевидными ветвящимися отростками до 100 μ длины.



Фиг. 3—5.

2. Воздушные конидии почковидные с заостроенными концами 9.2 × 4 μ.

3. Мицелиевидных образований нет

4. Вегетативных конидий и
5. хламидоспор не указано.

2. Воздушные конидии почковидные с клюповидно-заостренными концами 5.5—8.5 × 2.5—3.5 μ.

3. Мицелиевидные нити имеются, до 150 μ длины.

4. Вегетативные конидии имеются.

5. Хламидоспоры имеются.

На основании всего изложенного описываемый грибок выделяю в особый вид, как указано об этом раньше. В дальнейшем изложении эта культура будет обозначаться как исходная раса № 1.

Методика при получении новых рас *Sporobolomyces Philippovi* мной применялась та же самая, что и для других дрожжей (*Sacch. cerevisiae XII*). Старые культуры (1—$2^1/_2$ м) с сусло-агара высевались в чашку Петри на сусло-агар; через 10—12 дней выросшие отдельные колонии тщательно просматривались макро- и микроскопически, отмечались те колонии, которые имели какие-либо особенности (цвет и структура колонии, форма и величина клеток и др.) и затем выделялась каждая из одной клетки в чистую культуру. Полученные таким способом расы изучались и сравнивались между собой; они культивировались на разных питательных средах и у каждой отмечались все особенности как культуральные, так морфологические и физиологические. В качестве питательных сред применялись следующие: сусло-агар (сусло 7° Ball. + 2% агар) pH = 6.4—6.6. Сусло желатина (сусло 7° Ball. + 10% желатина). Сусло 7° Ball. и pH — 6.4—6.6 ломтики картофеля и морковь. Так как грибок развивается при высокой температуре, то все вновь получаемые расы проверялись на их устойчивость к этому фактору.

При выделении рас, многие из них в первые пересевы возвращаются к исходной, а некоторые вскоре дают новое расщепление. Обычным показателем того, что раса распадается, является внешнее изменение вида и структуры колонии. Как правило резче всего оно выражено в культурах более старых. На поверхности таких культур появляются дочерние колонии, более или менее резко отличающиеся от основной или же на периферии образуется секторальный рост. Образование дочерних колоний или секторов, однако, не всегда бывает в процессе расообразования, культуры могут расщепляться без изменения внешнего вида колонии и только микроскопически они отличаются, а в некоторых случаях отличие только физиологическое. Поэтому, кроме макроскопического просмотра колоний, необходимо микроскопировать и проверять их наиболее типичные физиологические особенности.

На протяжении $2^1/_2$ лет мною велось наблюдение над расщеплением *Sporobolomyces Philippovi* и в течение этого времени выделено большое количество различных рас. Многие из них спустя некоторое время возвращались к исходной культуре и из-за отсутствия интереса к ним откладывались в сторону. В дальнейшем сообщении буду касаться только тех рас, которые сохраняют свойства более стойко на протяжении длительного времени в ряде многочисленных пересевов.

Расы грибка, полученные «спонтанным» путем, т. е. помимо какого-либо специально воздействующего агента отличаются в различной степени

друг от друга, а все вместе от исходной, родоначальной формы. Они отличаются культуральными, морфологическими признаками и физиологическими свойствами. Иногда они отличаются одним каким-либо признаком или свойством, а в большинстве случаев целым комплексом их. На помещаемой здесь (табл. 1) сопоставлены наиболее важные признаки выделенных рас и указано, от какой культуры и когда они были получены и сколько имеется до настоящего времени пересевов.

Все расы, отличаясь друг от друга тем или другим признаком, в тоже время имеют некоторые характерные групповые сходства, что дает возможность группировать и классифицировать их в том или ином порядке.

На основании морфологических и культурных признаков, а равно биологических особенностей все полученные расы описанного грибка можно подразделить на 4 группы.

Первая группа характеризуется следующими особенностями. Колония культур бесцветная, не пигментирована. Клетки округлые, овальные или продолговатые, одиночные или в небольших комплексах; культуры не образуют отстреливающихся конидий и не дают зеркального изображения; хорошо развиваются при температуре 15—20° Ц, при более высокой температуре развитие замедляется, а при 27° совсем прекращается, минимальное развитие при 9°, при 37° расы быстро погибают. Протеолитическая способность выражена хорошо, желатину разжижают на 6—10 день. В эту группу включаются расы: №№ 3, 12, 13, 14 и 15.

По культуральному виду и другим особнностям расы этой группы делятся на гладкие, (расы №№ 3, 12, 13; фиг. 11) и бугристые (№№ 14 и 15; фиг. 12), у рас №№ 3 и 12; клетки с толстой слизистой капсулой, остальные не имеют таковой.

Наиболее типичным представителем гладких рас первой группы является раса № 3. По характеру колонии и виду клеток эта раса очень похожа на исходную культуру, впервые выделенную из слизетечения дуба (фиг. 1 *а*). На питательных средах она дает следующую картину.

На сусло-агаре колония белосерого цвета, гладкая слизистоблестящая с ровными, резко очерченными краями. На 6—8 день культура оползает вниз пробирки. Клетки овальные 5—7 × 3—5 μ с толстой слизистой капсулой, одиночные или соединены с клеткой-почкой; (фиг. 6) плазма клеток светлая, мелкоячеистая, с 1—3 зернышками метахроматина внутри. Размножаются клетки только почкованием, воздушных конидий нет. На сусле желатине растет хорошо колония белая, гладкая, клетки овальные, желатину разжижает на 6—7 день, на жидком сусле растет удовлетворительно,

на дне пробирки образуется осадок, а на поверхности небольшое беловатое кольцо. Клетки округлые, овальные, сусло не обесцвечивает. На картофеле и моркови растет хорошо, образуя толстый слизистый налет серобелого цвета. Клетки как в предыдущих средах. Бродильной способностью расы не обладают. Опыты поставленые на брожении в трубках Дунбара с глюкозой, левулезой, маннозой, галактозой, сахатозой, мальтозой и лактозой дали отрицательный результат (основной раствор Hansen'а).

По своему культуральному виду, по физиологическим и морфологическим особенностям эта раса ничем видимым не отличается от обычных весьма распространенных в природе не окрашенных дрожжей из рода *Torulopsis*.

Раса № 12 получена от расы № 3, отличается от последней характером роста и видом колонии. Культура не сползает вниз пробирки, вязкая, за петлей тянутся длинные нити, клейстероподобная, мутная сероватобелого цвета. Клетки более продолговатые с слизистой капсулой, в остальном то же самое, что раса № 3.

Раса №№ 3 и 12 близко напоминают Рентгено-расу «Д», полученную Надсоном и Филипповым воздействием рентгеновых лучей на *Sporobolomyces roseus*. Различие заключается лишь в том, что клетки расы «Д», содержат капли жира, чего у наших рас не наблюдалось.

Раса № 13. Получена в 1930 г. из расы № 12.

На сусло-агаре колония белая, гладкая, восковидного блеска, а в старой культуре матовая, тестовидной консистенции, не растекается и не оползает вниз пробирки, более плотная, чем расы №№ 3 и 12. Клетки овальные продолговатые 5—20 $\mu \times$ 3—5 μ, чаще 5—12 $\times$ 3—5 μ, слизистой капсулы нет, отростков не образует, часто соединены в небольшие группы по 3—7 клеток (фиг. 7). Плазма клеток однородная, светлая, с одиночными мелкими зернами внутри. В остальном то же самое, что и раса № 3.

Раса № 14. Выделена от расы № 13.

На сусло-агаре колония белого цвета, с зернистой поверхностью, как бы усеяна мелким песком, матовая с неровными краями. Клетки овальные, продолговатые, некоторые с вытянутым концом или с небольшим отростком (фиг. 8). Много клеток круглых 5—8 μ, с большим числом плотносидящих почек. Слизистой капсулы нет. Содержимое клеток различно: у овальных и продолговатых плазма светлая, жира нет, у круглых плазма густая, наполнена большим количеством жира. На сусло-желатине растет хорошо, колония белая, гладкая, клетки овальные и круглые, желатину разжижает на 8—10 день. На жидком сусле растет только в осадке, причем клетки

продолговатые, овальные. Сусло обесцвечивает резко. На картофеле растет толстым белым слоем, на моркови колония блестящая, гладкая. Сахара и сусло раса не сбраживает, при температуре 27° и выше не ростет, оптимальный рост при 15—20°, а при 9° растет слабо.



Фиг. 6—10.

Раса № 15. Получено от расы № 14.

На сусло-агаре колония белого цвета бугристая или складчатая, высоко подымающаяся над субстратом с крутыми краями, матовая (фиг. 12). В остальном не отличается от расы № 14.

Как видно из описания, расы первой группы в отношении формы и величины клеток, а также культурального роста резко отличаются от основной исходной культуры (№ 1). Ни одна из них не образует ни длинных мицелиевидных нитей, ни вегетативных и ни воздушных конидий, ни хламидоспор; ни разу не наблюдалось у этих рас образования зеркального изображения и дочерних вторичных колоний вокруг основной культуры.

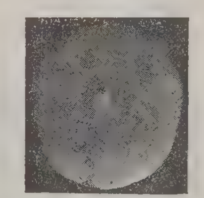
Вторая группа характеризуется наличием настоящего, длинного ветвящегося мицелия. Получены две расы №№ 4 и 10.

Раса № 4. Получена от исходной расы № 1. Образование ее наблюдалось довольно часто при обычном культивировании на сусло-агаре исходной формы. При этом в старых (1—1.5 м) культурах появляются отдельные кожистые, плотные пятна, которые состоят из плотно переплетенного мицелия и из отдельной клетки которого получена чистая культура.

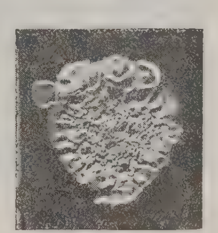
На сусло-агаре раса № 4 растет хорошо, вся поверхность субстрата сплошь покрывается культурой. Колония серобелого цвета, кожистая, довольно плотная, петлей не захватывается, снимается с трудом отдельными частями, поверхность колонии плоско бугристая или гладкая, блестящая, края тонкие плоские, с субстратом не срастается (фиг. 13). Вся колония состоит из длинного ветвящегося, септированного мицелия. Мицелий с поверхности колонии толстый 5—6 μ в поперечнике, с крупновакуолистой плазмой и мелкими зернышками внутри (фиг. 3). На концах нитей и веток часто встречаются 1—2 клетки—конидий. Конидии округлые, овальные или продолговатой формы 7—12 $\times$ 5—6 μ; образуются они путем выпочковывания, а именно, плазма на конце нити концентрируется, становится более густой, резко преломляющей свет, потом появляется на поверхности выпячивание, в виде бугорка или почки, которая удлиняется, увеличивается и становится обычной вегетативной клеткой, соединенной в начале тонким перешейком, а потом между ними образуется перегородка. Конидии не отбрасываются, а отваливаются от веток и тут же прорастают в мицелий или некоторое время размножаются почкованием. Иногда конидии почкуются, будучи соединены с мицелием, в таком случае образуется короткая цепочка их. Отдельные нити мицелия могут распадаться на клетки, которые потом прорастают в мицелий или на концах их вырастает почка. В глубине колоний мицелий более тонкий 2.5—3.5 μ с грубозернистой плазмой, и легко распадается на длинные клетки. Отбрасывание конидий и образование зеркальных изображений ни разу не наблюдалось. На сусло-желатине раса растет хорошо, колония серобелого цвета, матовая, слегка бархатистая, покрыта мелкими ворсинками, что хорошо видно при малом увеличении микроскопа. Желатину разжижают на 10—12 день, образуя при этом на поверхности ее мощную клетку. На сусле жидком развивается сначала на дне, в виде рыхлого осадка, затем на 8—12 сутки при 25° появляется кольцо, переходящее в толстую морщинистую пленку серобелого цвета. Как на дне, так и на поверхности сусла культура состоит из мицелия, почкующихся конидий. Сусло не обесцвечивает. На картофеле развивается

хорошо с образованием кожистого серобелого налета; на моркови такой же рост, как на сусло-агаре. Воздушного мицелия на всех упомянутых средах не образуется. Бродильной способности у этой расы не обнаружено. Наиболее мощное развитие происходит при температуре 15—17°, слабо развивается при 7° и совсем не растет при 25—27° Ц.

Данная раса в первых пересевах, после того как она была изолирована из исходной культуры на сусло-агаре давала матовый, бархатистый рост сероватобелого цвета с розовым оттенком. Поверхность колоний была покрыта мелкими конусовидными ворсинками до 75 μ длины. Ворсинки, или вернее коремии состояли из плотно переплетенного мицелия с большим количеством конидий. В последующих пересевах ворсинки исчезали, и культура приобрела описанный выше вид, стойко сохраняя его до настоящего времени, лишь только в чашках Петри гигантские колонии имеют такую же поверхность (фиг. 14).



Фиг. 11.



Фиг. 12.

Как видно из описания, эта раса близко напоминает грибки из рода *Oospora*.

Раса № 10 очень похожа на предыдущую, отличается лишь тем, что мицелий более тонкий и более ломкий, легко распадается на отдельные нити различной длины (фиг. 4). В поперечнике мицелий не более 2 μ, а чаще 1.5 μ. В молодом состоянии колония стелится по поверхности агара тонкой прозрачной пленкой, которая легко снимается целиком и состоит из коротких палочковидных клеток 4.0—15 × 1—2 μ, часто клетки в цепочках («*Sprossverbände*»). На концах нитей и веток образуются овальные и продолговатые конидии, последние не отстреливают и раса не дает зеркального изображения. На других питательных средах дает то же, что раса № 4.

От расы № 4 была получена одновременно с только что отмеченной раса № 10-а, которая по культуральному виду очень похожа на № 10, но по виду клеток и характеру образования цепочек значительно отличается от нее. Она не дает резко выраженного мицелия, а только попытку к его образованию; клетки палочковидные 10—25 × 2—2.5 μ, соединены в длинные ветвящиеся цепочки, которые легко распадаются на отдельные клетки. В остальном то же самое.

Раса № 11 представляет дальнейшую ступень деградации мицелиальной формы этого грибка. Получена она была от расы № 10. Колония ее

имеет слизистую консистенцию, растет тонким слоем, полупрозрачная, мицелия не образует, вся культура состоит из дрожжевидных палочковидных клеток. Клетки одиночные или соединены с почкой, цепочек длинных нет (фиг. 5). Наиболее характерные особенности ее указаны в таблице № 4.

Как видно из описания группа эта настолько резко отличается от всех других, что отождествлять их совсем не приходится. Наличие хорошо развитого мицелия с конидиями на концах веток позволяет рассматривать расы №№ 4 и 11 как близкие к мицелиальным грибам, и возможно, что они являются только стадией развития какого-либо из них. Подобных рас у *Sporobolomyces* вообще никто не отмечал, не получали их и Надсон с Филипповым под влиянием лучей радия и Рентгена. Лишь только неоднократное получение этих рас из основной культуры убеждает, что здесь не загрязнение, а именно расщепление. Ни одному исследователю не пришла бы мысль объединить или поставить в близкую генетическую связь эти расы с расами первой и третьей группы. По меньшей мере они были бы выделены в особый род, если бы были получены непосредственно из природы.



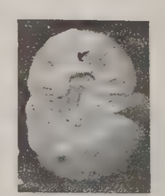
Фиг. 13.

Третья группа. Расы этой группы характеризуются наличием отстреливающихся воздушных конидий и образованием зеркального изображения на крышке чашки Петри. Все они окрашены более или менее ярко в красно-розовый цвет. Эта группа является типичной для рода *Sporobolomyces*. Сюда включаются расы №№ 6, 7 и 9. Все они близки между собой и имеют много общего с исходной расой № 1. Колония их слизисто-гладкая (раса № 9), бугристая (раса № 7) или бархатистая (раса № 6) вследствие образования большого количества воздушных конидий. Ближе всех стоит к исходной расе № 9, отличается она лишь отсутствием хламидоспор, ярко красным пигментом колонии и более резко выраженной протеолитической способностью. Раса № 7 имеет бугристую колонию, более плотная и сухая розового цвета, матовая, хламидоспор не образует, она близко напоминает рентгено-расу «В» Надсона и Филиппова, полученную ими из культуры *Sporobolomyces roseus*. Раса № 6 отличается помимо бархатистой поверхности колоний, более продолговатыми и тонкими размерами воздушных конидий (8—10 × 2.5—3 μ) и меньшим числом их на каждом отдельном конидиеносце, обычно они сидят по одной на отростке, тогда как у расы

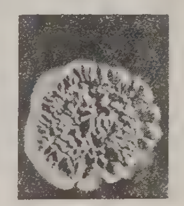
№ 9 и № 7 число их 2—3 и даже 4. Так же, как и исходная, эта раса хорошо растет при 25°, удовлетворительно при 37° и слабо при 40°, причем образование зеркального изображения (*resp.* отбрасывание конидий) при температуре свыше 25° не происходит.

Раса № 6 по форме и величине вегетативных клеток и воздушных конидий очень похожа на *Sporobolomyces roseus* в описании Guilliermond'a а также при сравнении рисунков и описаний Kluyever'a и Niel'я.

Только что описанные расы III группы отличаются большой способностью к расщеплению. Во всех случаях наблюдается большое разнообразие среди дочерних колоний. Последние отличаются как видом и структурой колоний, так и окраской. Одни из них более сильно окрашены, другие имеют едва заметный розовый оттенок, возвращаясь по этому признаку к исходной расе № 1. Незначительное число колоний образуется с ярко-розовой пигментацией. Вариации дочерних колоний не ограничиваются только видом колоний. Отмечается различие также в форме и величине клеток и конидий, в числе и длине отростков их ветвлений. Из всего разнообразия вырастающих вторичных колоний можно было бы найти все формы, которые описаны Kluyever'ом, а затем Derx'ом (4) как отдельные виды. Мной неоднократно выделялись формы, которые по морфологическому виду и культуральным особенностям одни были похожи более на *Spor. roseus* другие на *Spor. tenuis* и т. д. Однако все они в дальнейших пересевах быстро перераждались и изменяли картину. Только раса № 6 имеет более постоянный характер, отщепляя лишь изредка отличные от нее формы.



Фиг. 14.

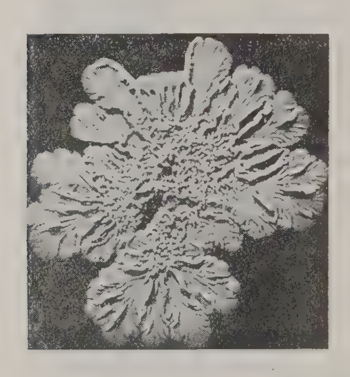


Фиг. 15.

Четвертая группа. Характерным для этой группы является окраска культур в красный цвет и отсутствие воздушных конидий. Ни у одной из них не наблюдается ни образования зеркального изображения ни вторичных дочерних колоний. Сюда включаются расы №№ 5, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23. Некоторые расы, напр. №№ 17, 15 и 16 вскоре после того, как они были выделены из одной клетки, в первых пересевах дали вторичные колонии за счет отстреленных конидий, но в очень ограниченном количестве, после 3—4 кратного пересева в чашку Петри удалось наконец выделить их, совершенно лишенных этой особенности. В отношении пигментации колоний расы не все одинаково окрашены. Наблюдаются вариации как в интенсивности, так и в самом оттенке. Одни из них имеют темно-красный цвет, другие бурокрасный с оттенком желтизны и третьи светло-

красный, приближающий их по этому признаку к предыдущей группе. Такая градация окраски не является строго постоянной для каждой отдельной расы. При длительном культивировании некоторые из них меняют оттенок, например, из темнокрасной культуры получается светлокрасная, причем такое изменение идет либо равномерно по всей колонии, либо секторально.

По внешнему виду и структуре колонии расы этой группы резко отличаются друг от друга. Одни из них гладкие слизистые, стекающие вниз пробирки (№№ 5в, 21, 22) или более компактные с блестящей поверхностью (№№ 16 и 20; фиг. 14), у других колония бугристая плотная с трудом захватывается петлей (№№ 5, 19, 23; фиг. 15), или она стелется по агару пленкой, которая потом собирается в складки, образуя складчатую культуру (№№ 5а, 17, 18 фиг. 16).



Фиг. 16.

Клетки этих рас независимо от структуры колоний часто имеют однородную форму, а многие из них похожи на белые расы. Например, клетки слизистых красных рас чрезвычайно близки к белым слизистым, все они имеют более или менее толстую слизистую капсулу.

Раса 22 отличается от расы № 3 только величиною клеток и наличием пигмента, а раса 5в только последним (фиг. 6). Несколько выделяется формой клеток раса № 21. Клетки ее палочковидные с закругленными концами (фиг. 9), одиночные или соединены в пары, внутри имеются крупные капли жира, расположенные чаще на концах клетки. Такие же клетки имеет раса 20, но без жира и без слизистой капсулы; последняя отсутствует и у расы № 16. Раса № 16 по форме клеток несколько напоминает расу № 13 (фиг. 7), но меньших размеров и содержит внутри капли жира. Точно такие же клетки и у бугристой расы № 5а. Среди бугристых рас также имеются формы, близко стоящие к белым негладким расам, например, клетки расы № 23 по форме и величине полностью совпадают с расой № 14 (фиг. 8). Такие же крупные клетки шаровидной формы, реже овальной и с большим количеством жира. Раса № 17 отличается от предыдущей только наличием отростков. Отростки разной длины 5—25 μ, 1—2 на каждой клетке. Некоторые расы, как например, № 5 соответствуют по форме клеток слизистой расе № 22 или № 3. Расы № 18 и № 19 близко напоминают собой по форме и величине дрожжи из рода *Torulopsis*, весьма

распространенные в природе. Овальные клетки небольших размеров, внутри капельки жира (фиг. 10) или без такового. Как указано выше расы этой группы отличаются от всех описанных здесь рас наличием ярко красного пигмента. Этот признак достаточно веский, чтобы выделить их в особую группу.

При сравнении красных рас с рентгено-расами Надсона и Филиппова, обнаруживается близкое сходство некоторых из них. Например раса № 22 ничем существенным не отличается от рентгено-расы «В гладкая»; раса № 21 по цвету и характеру колоний близко стоит к расе «L гладкая». Раса № 19 несколько похожа на «L бугристую».

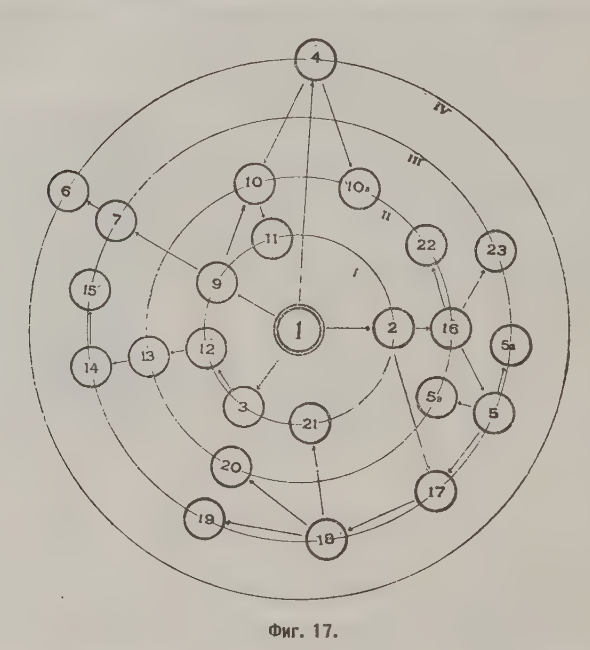
Изложенный здесь материал является лишь частью того, что получено мной. За недостатком места и для простоты изложения ограничиваюсь более типичными формами. Но и этого вполне достаточно, чтобы признать, что расообразование у *Sporobolomyces Philippovi* происходит без какого-либо специально-воздействующего агента, лишь под влиянием тех окружающих условий, которые создаются в процессе роста на искусственных питательных средах.

При этих условиях грибок способен расщепляться на множество различных форм, которые по своему виду настолько отличны, что каждый миколог, не зная их происхождения отнес бы их в весьма различные группы. Не исключается возможность, что образование столь отличных форм, как расы №№ 4 и 10 является лишь стадией развития, которая обнаружилась в лабораторных условиях и которая свойственна вообще роду *Sporobolomyces*. Это стало более правдоподобно, когда мной был выделен из почвы один вид из этого рода, образующий хорошо развитый вегетативный мицелий и с типичными отстреливающими воздушными конидиями. Этот вид, по всем предварительным данным (материал находится в стадии обработки) является очень близким к описанному здесь.

Sporobolomyces Philippovi, как указывалось выше, начал расщепляться спустя долгое время пребывания его на искусственном питательном субстрате. Очевидно требовался некоторый период роста в этих условиях, чтобы его «расшатать». Это явление свойственно многим другим дрожжевым организмам. Причем для разных видов период пребывания в лабораторных условиях различен, некоторые организмы расщепляются довольно быстро, после того как они попали на искусственный субстрат из природы, другие расщепляются много позже, иногда спустя несколько лет.

Как отметил Г. С. Филиппов (10) расообразование легче наступает в старых культурах. Подсчитывая продукт отщепленных новых форм (ко-

лоний с новыми признаками) по отношению числа колоний основной культуры, автор получил разительные цифры, а именно: для 48 ч. культуры = 0.1%, а для 8 месячной — 4.7%, т. е. в 47 раз больше. Неоднократные посевы, производимые мною в чашку Петри, параллельно молодых (2—3 сут.) и старых (1—$1^1/_2$ м.) культур показывает, что число колоний с новыми свойствами у последних несравненно больше. В то время, как молодые культуры отщепляют новые формы в единичных случаях, т. е. во всей чашке



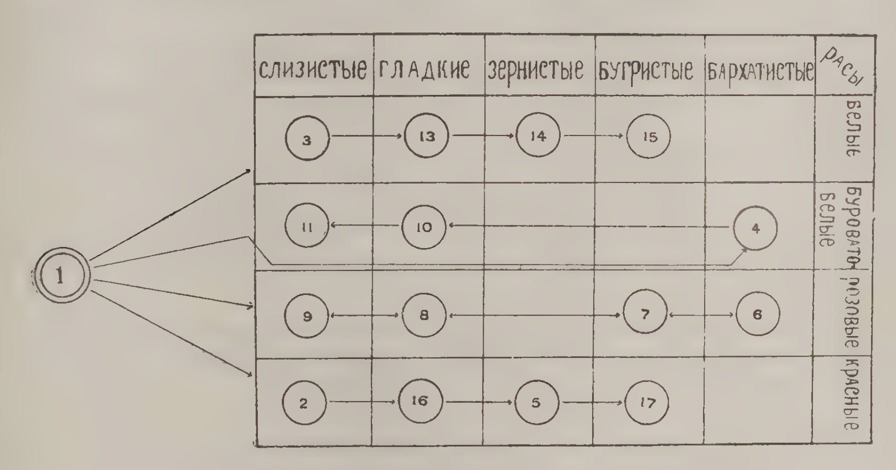
Фиг. 17.

с числом выросших колоний, равным 500—700, удается иногда найти одну, редко две колонии с новыми признаками, у старых культур насчитывается иногда около десятка, а в некоторых случаях до 3%.

Следует, однако, оговориться, что наличие большого количества однородных колоний с новыми признаками в одном и том же посеве еще не доказывает множественности расщепления. Здесь может однажды образовавшаяся раса в старой культуре размножаться некоторое время и при посеве в чашку дать множество колоний. Поэтому трудно учесть хотя бы приблизительную величину расообразования. Более показательным является наличие в посеве различных форм, а при учете однородных новых форм будет вполне достаточным ограничиваться пока выражением «много», «мало» или «совсем нет».

Многие из новых рас *Sporobolomyces Philippovi* в процессе дальнейшего культивирования в свою очередь расщепляются, причем способность к расщеплению весьма различна у разных рас. Имеются расы, которые в течение 2—3 лет не дали ни одного отщепления (№№ 23, 11), тогда как у других это явление происходит постоянно; требуется непрерывное наблюдение и изоляция вновь образующихся форм, чтобы сохранить основную расу и поддержать ее в чистом виде (№№ 6, 7, 9, 5, 18 и 31).

При расообразовании одни культуры постоянно отщепляют одну какую-либо расу, другие же дают часто целую гамму разнообразных форм.



Фиг. 18.

Такие расы служат как бы новым центром богатого расообразования (№№ 5, 18, 16). На фиг. 17 показаны расы в их генетической связи и их способность к расщеплению. Круги в этой таблице обозначают характер и внешний вид колоний расположенных на них рас: в первом к центру (I) располагаются расы, с слизистой поверхностью колонии, во втором (II) — колонии гладкие, не слизистые, в третьем (III) — бугристые расы, в четвертом (IV) — бархатистые расы.

«Спонтанные» расы описанного грибка в течение 4-х лет прошли десятки пересевов и тысячи генераций. Во все это время они стойко сохраняют те морфолого-физиологические и культуральные отличия, которые имели вначале после выделения в чистую культуру.

Лишь некоторые из них переродились за счет новых образовавшихся форм, которые своей более мощной жизнедеятельностью вытеснили основную материнскую расу.

Расы грибка *Sporobolomyces Philippovi*

№№	Происхождение	Когда выделена	Число посл. пересевов	Гигантская колония на сусло-агаре		Клетки
				Цвет	Характер и структура	Форма
1	Слизетеч. дуба	1928, IX	15	Розовато-серый	Гладкая, блестящая, с ровными краями и дочерними колониями вокруг .	Овальные с отростами
3	От расы № 1	1929, III	54	Серобелая	Гладкая, блестящая, слизистая . .	Овальная
12	» » 3	1930, II	35	»	Студенистая или клейстерообразная, слизистая	Овальная и продолг.
13	» » 12	1930, X	28	Белая	Гладкая, восковидного блеска, с неровными краями	Овальная и продолг.
14	» » 13	1930, XII	25	»	Мелкобугристая, матовая с неровными краями	Овальная с отростк.
15	» » 14	1931, II	20	»	Крупнобугристая, матовая, высокая, с крупными краями	Круглые
4	» » 1	1928, IX	54	Серобелая	Бархатистая, кожистоплотная, плоская или слабо бугристая	Мицелиевидн.
10	» » 4	1929, III	56	»	Плоская, блестящая, гладкая, кожистоплотная	»
11	» » 10	1929, IX	48	»	Слизистая, блестящая, гладкая . . .	Палочковидн
7	» » 9	1929, IV	45	Розовая	Мелкобугристая, матовая, с ровными краями	Округлые, овальн.
6	» » 7	1929, IV	46	»	Бархатистая, слабобугристая	Овальная с отростк.
9	» » 1	1929, III	48	Светлокрасн.	Слизистая, стекающая вниз пробирки	Овальная, с отростк.
16	» » 2	1929, V	48	Красн.	Гладкая, матовая, с радиальными бороздками	Овальная, продолгов.
5	» » 2	1929, V	45	»	Бугристая, матовая, высоко-подым. над субстр.	Овальная, округлая.
17	» » 5—2	1930, V	32	»	Складчатая, пленкой, матовая	Округл. круглые с отростк
18	» » 17	1930, IX	28	Бурокрасн.	Складчатая, высокая, сухая, плотная .	Продолгов.
19	» » 18	1930, XII	25	»	Бугристая, матовая плотная, с плоскими краями	Округлые
20	» » 18	1930, XII	25	»	Гладкая, восковидного блеска, с ровными краями	Палочковидн
21	» » 18	1930, XII	25	»	Слизисто-блестящая, оползающая вниз пробирки	»
22	» » 16	1930, IV	42	Светлокрасн.	Гладкая, блестящая, оползает очень слабо	Овальные
23	» » 16	1930, IV	42	»	Бугристая, плотная, не высокая . . .	Круглые

Таблица 1

олученные «спонтанным» способом.

Клетки			Температура роста			Рост в жидк. сусле	Обесцв. сусла	Разжиж. желатины	Образован. зеркальн. изображ.
Размеры в микронах	Слизист. капсула	Жир внутрикл.	Миним.	Оптим.	Максим.				
5—7.5 × 2.5—5	—	+ Оч. мало	3°	25°	41°	Кольцо	—	На 6 сутки	+
5—7 × 3—5	+	—	9	20	27	Осадок	—	» 6 »	—
—12.5 × 3.5—6.5	+	—	9	20	27	»	—	» 6 »	—
5—20 × 3—5	—	—	9	20	27	»	—	На 8—10 с.	—
10—15 × 5—7	—	Оч. мало	9	20	27	»	+	—	—
7.5—10	—	Оч. много	9	20	27	»	+ Слабо	—	—
.5—100 × 5—7	—	—	7	17	25	Пленка	—	На 12—15 с.	—
.5—100 × 1.5—2	—	—	7	17	25	»	—	На 6 с.	—
3.5—10 × 1.5	+ Оч. слабо	—	7	17	25	Кольцо	—	» 6 »	—
7—12.5 × 4—5.5	—	+	9	25	40	Пленка	—	» 3 »	+
5—8.5 × 4—5	—	+ Мало	9	25	40	»	—	» 3 »	+
5—7.5 × 2.5—3	+ Оч. слабая	+ Оч. мало	9	25	40	Кольцо	—	» 3 »	+
6—12 × 3.5—5.5	—	+	9	25	37	»	—	» 3 »	—
5—75 × 5	—	—	9	25	37	»	+	» 3 »	—
5—12 × 4.5—8.5	—	+ Оч. много	9	25	37	Пленка	+	» 5 »	—
5—7.5 × 2—2.5	—	+	9	25	37	Кольцо	—	» 14 »	—
5—7.5 × 5.5	—	—	9	25	37	»	—	» 14 »	—
4.5—7.5 × 2—3	—	—	9	25	37	Осадок	—	» 5 »	—
5—7 × 2—2.5	+	+	9	25	37	»	—	» 12 »	—
3.5—5 × 2—2.5	+ Оч. тонк.	—	9	20	27	Кольцо	—	» 14 »	—
10—15	—	+ Оч. много	9	20	27	»	—	» 12 »	—

Не останавливаясь подробно на способах образования рас, укажу лишь, что оно идет точно таким же образом, как это описали Надсон и Филиппов у рентгено-рас. Так же как у последних, при расщеплении культур, образуются либо секторы (один или много), либо «вторичные» колонии, развивающиеся из отброшенных воздушных конидий «спор». Нередко новые расы при расщеплении материнской культуры вырастают на поверхности последней в виде дочерних колоний. Из одной такой клетки выводится чистая культура. Такое образование рас обнаруживается довольно часто у многих дрожжевых организмов, а у некоторых, как например, *Sacch. cerevisiae* является доминирующим.

Сопоставляя между собой описанные расы и группируя их по морфологическим и культуральным признакам, удается отметить примерно те же ряды, что и у *Sporobolomyces roseus* и у *Torulopsis*, впервые описанные Надсоном и Филипповым.

На представленной схеме (фиг. 18) расы *Sporobolomyces Philippovi* распределены в ряды по двум существенным признакам: 1) характер поверхности гигантской колонии — вертикальные ряды; 2) цвет культуры — горизонтальные ряды. Такая группировка дает лишь ориентировочное представление происхождения рас и далеко не исчерпывает всех генетических отношений. Совершенно не указываются в ней, например, морфологические и физиологические особенности, тогда как эти признаки у некоторых рас являются чрезвычайно характерными.

Как указывают стрелки, процесс расщепления в большинстве случаев идет от слизистых форм к бугристой, но в противоположность рентгено-рас Надсона и Филиппова, многие идут в обратном направлении (№№ 4, 6, 7 и 10).

В отношении пигментации также получены несколько иные результаты, чем только что названными авторами. Как указано выше исходная раса № 1 имеет серобелый цвет с едва заметным розовым оттенком, а выделенная непосредственно из слизетечеия вовсе не имела его, однако в процессе расщепления были получены как розовые, так и красные расы. Следовательно, здесь мы имеем наглядный пример того, что расообразование идет не только с потерей пигмента, но и с приобретением его.

Работа исполнена под общим руководством академика Г. Н. Надсона, за что приношу ему сердечную благодарность.

Микробиологическая лаборатория
Академии Наук СССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Beijerinck U. Zbl. f. Bakter., Abt. II, Bd. 3, 1897, S. 449 u. 518.
2. Brierley. W. Ann. of. Appl. Biology, vol. XVIII, № 3, 1931, p. 420 и Brit. Med. journ., 1932, p. 772.
3. Ciferri. Arch. f. Protistenkunde, Bd. 71, 1930; Ann. Mycologici, Bd. XXVII, 1929, S. 243.
4. Derx H. Ann. Mycologici, 1930, S. 1.
5. Hansen E. Zbl. f. Bakter., Abt. II, Bd. 4, 1893; Bd. 9, 1906; Bd. 8, 1907, S. 577.
6. Hansen u. Smith. Phytopathology, vol. 22, 1932, p. 953.
7. Kluyver u von Niel. Zbl. f. Bakter., Abt. II, Bd. 63, 1925, S. 1.
8. Lindner P. Abderhalden Handbuch d. Biol. Arbeitsmethoden, Abt. 12, H. 1, 1922.
9. Надсон Г. и Филиппов Г. Вестник Рентгенологии и радиологии, т. III, 1925, стр. 305; т. X, 1932, стр. 275.
10. Филиппов Г. Вестник Рентген. и радиол., т. X, 1932, стр. 511.

N. KRASSILNIKOV. RASSENBILDUNG BEI *SPOROBOLOMYCES PHILIPPOWI* n. sp

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bildung neuer resistenter Rassen ohne Einwirkung eines speziellen Faktors, sogenannter «spontaner» Rassen, wurde von mir bei einem Hefepilz aus der Gattung *Sporobolomyces* n. sp. beobachtet. Dieser Pilz wurde zum erstenmal im J. 1928 aus dem Schleimfluss einer Eiche isoliert. Dieser Pilz unterscheidet sich durch seine morphologischen Merkmale von den früher beshriebenen Arten und wird daher als besondere Gattung angesehen, welche ich, zu Ehren der grossen wissenschaftlichen Verdienste und der talentvollen Untersuchungen des leider zu früh verstorbenen Mikrobiologen G. S. Philippov als *Sporobolomyces Philippovi* bezeichne.

Folgende morphologische Merkmale sind für diesen Pilz besonders charakteristisch: die Kolonien sind schleimig, entweder farblos oder schwach rosa gefärbt. Die Zellen sind oval, einige von ihnen mit langen, verzweigenden, sich nicht an die Luft erhebenden Auswüchsen versehen. An Enden dieser Auswüchse befinden sich zylindrische, sogenannte «vegetative» Konidien mit ausgesprochen dickem Plasma (Fig. 1 *b*). Sie fusionieren nicht und nehmen an der Bildung des Spiegelbild nicht Teil. Andere Zellen bilden kurze, nach dem Ende hin spitz zulaufende Auswüchse, mit knospenartigen Luftkonidien oder «Sporen» (Fig. 2). Sie fusionieren über eine grosse Fläche und geben «ein Spiegelbild». Ausserdem bildet dieser Pilz besonders geartete Zellen vom Typus der Chlamydosporen (Fig. 1 *c*).

Durch Aussehen alter Kulturen in Petri-Schalen und durch nachfolgende Auslöse von Kolonien, die sich von den übrigen scharf unterscheiden, erhielt ich eine grosse Anzahl verschiedenartiger Rassen. Sie entstammten sämtlich einer Zelle und wurden im weiteren bei gleichen Bedingungen untersucht. In der vorliegenden Arbeit beschreibe ich nur solche Rassen, welche sich von einander scharf unterscheiden und dabei ihre Merkmale stabil erhalten.

Nach kulturellen Aussehen und morphologischen Merkmalen können alle erhaltenen Rassen in 4 Gruppen geordnet werden.

Gruppe I (Rassen №№ 3, 12, 13, 14 u. 15) wird durch Abwesenheit des Pigments gekennzeichnet; die Kolonien sind glatt (№№ 3, 12, 13, Fig. 11), oder höckerig (№№ 14, 15, Fig. 12); die Zellen sind oval (№ 3), kugelig (№№ 14 u. 15), länglich (№ 13). Diese Rassen bilden weder Auswüchse noch Konidien oder Chlamydosporen; eine Spiegelbild kam auch kein einziges Mal zur Beobachtung. Ihrem allgemeinen Charakter nach ähneln sie den in der Natur weit verbreiteten farblosen Hefepilzen aus der Gattung *Torulopsis.*

Für Gruppe II ist die mycelartige Struktur als charakteristisches Merkmal anzusehen. Zu dieser Gruppe zählen wir die Rassen №№ 4, 10, 11. Sie sind sämtlich farblos und glatt, häutig, fester Konsistenz (Rassen №№ 4 u. 10; Fig. 13), oder aber schleimig hefeartig (№ 11) und bilden keine fusionierenden Konidien. Rasse № 4 hat ein gut ausgebildetes, septiertes, häufig verzweigtes 5—6 μ dickes Mycelium (Fig. 3). An den Endigungen der Verzweigungen entstehen Konidien, welche zur Knospung und zur Bildung kurzer Ketten führen können. Einzelne Mycelfäden zerfallen in kurze oder lange Zellen. Diese Rasse erinnert an Pilze aus der Gattung *Oospora.*

Rasse № 10 zeichnet sich durch einen feineren (1.5 μ) Querschnitt der Mycelfäden aus (Fig. 4,). Rasse № 11 bildet kein typisches Mycelium; die Zellen sind stäbchenförmig, häufig in langen sich verzweigenden Ketten, welche leicht in einzelne Zellen zerfallen (Fig. 5).

Gruppe III wird durch typische Formen von *Sporobolomyces* vorgestellt (Rassen №№ 6, 7, 9), die sämtlich fusionierende Luftkonidien bilden und ein Spiegelbild geben. Dadurch unterscheiden sie sich von allen andern Gruppen. Die Rassen differenzieren untereinander durch Grösse und Anzahl der Konidien auf jedem einzelnen Auswuchs, so wie durch die Intensität der rosa Färbung der Kulturen (Fif. 2).

Die Rassen der Gruppe IV haben ein grell rotes Pigment (Rassen №№ 16, 5, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23), unterscheiden sich voneinander durch die Struktur der Kolonien und Gestalt der Zellen. Bei einigen ist die Kolonie schleimig (№№ 21, 22, 5 b), oder aber fester Konsistenz und glatt (№№ 11, 20, Fig. 14), bei andern höckerig (№№ 5, 19, 23, Fig. 15) oder faltig (№№ 17, 18, 5 *a* Fig. 16). Bei einigen sind die Zellen oval (№№ 5, 22, Fig. 6), stäbchenförmig (№№ 21, 20, Fig. 9), oder länglich (№ 16, Fig. 7); bei einigen rund mit einer grossen Menge Fett (№№ 23, 17, Fig. 8) oder oval (№№ 18, 19 Fig. 10).

Einige von diesen Rassen ähneln den von Nadson und Philippov bei *Sporobol. roseus* erhaltenen Röntgenrassen. Rasse № 22 offenbart keinen wesentlichen Unterschied von der Röntgenrasse «B-glatt», die Rasse № 21 steht der Rasse «L-glatt», die Rasse № 19 der Form «L höckerig» nah.

Alle beschriebenen Rassen machten während der 2—3 Jahre des Kultivierens auf Nährböden Dutzende von Umsaaten durch und erzeugten dementsprechend Tausende von Generationen, indem sie während dieser ganzen Periode ihre Merkmale standhaft behielten. Viele Rassen setzten fort sich weiter zu spalten und erzeugten entweder neue Formen oder solche, die schon früher beobachtet

waren. Bei manchen dagegen fand die Spaltung entweder gar nicht oder nur sehr selten vor (№№ 23, 3, 11, Fig. 17). In der Regel tritt die Spaltung häufiger bei alten Kulturen auf.

Wenn wir die beschriebenen Rassen einander gegenüberstellen und dieselben nach ihren morphologischen und kulturellen Merkmalen gruppieren erhalten wir annähernd dieselben Reihen wie bei *Sporobol. roseus*, das zum erstenmal von Nadson und Philippov beschrieben wurde (Fig. 18). Aus dieser Tabelle ist zu ersehen, dass der Spaltungsprozess nicht nur von der glatten zur höckerigen Art verläuft, sondern auch in umgekehrter Richtung.

Die Rassenbildung kann sowohl durch Verlust eines Merkmals, als auch durch Umbildung oder Verstärkung des letzteren erfolgen.

Vorliegende Arbeit wurde im Mikrobiologischen Laboratorium der Akademie der Wissenschaften der USSR unter Leitung von Prof. G. Nadson (M. d. Akad.) ausgeführt.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1933
BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS
Classe des sciences mathématiques et naturelles
Отделение математических и естественных наук

К ХИМИЗМУ УСВОЕНИЯ АЗОТА

А. ИСАКОВОЙ

(*Представлено академиком* А. А. Рихтером)

Проблема усвоения молекулярного азота микроорганизмами группы азотобактера уже давно привлекала внимание исследователей. Однако химизм этого процесса до последнего дня представлял ряд неразрешенных вопросов.

Основных теорий связывания азота можно считать три.

В основу одной из них положен принцип окисления. Эта теория поддерживается рядом крупнейших исследователей, напр. Стоклазой (Stoklasa; 27, 28), Готье и Друэном (Gautier et Drouin; 11), Лев и Азо (Loew and Aso; 21). Последние представляют химизм усвоения азота в следующем виде:

$$N_2 + 2H_2O = NH_4NO_2;$$

это соединение далее редуцируется до аммиака.

Стоклаза, исходя из большой энергии кислородного дыхания азотобактера, полагает, что все химические процессы, производимые клеткой этого организма тоже должны обладать большой окислительной способностью, и на основании этого он считает первым продуктом связывания азота азотистую и азотную кислоту.

К этой же категории работ принадлежит ряд исследований Блома (Blom); 1), который к первым продуктам связывания азота относит гидроксиламин. Из других работ, в основу которых положена теория окисления, можно указать на работы Отто Мейергофа и Бурка (Otto Meyerhof und Dean Burk; 25—26), Ивазаки (Iwasaki; 14).

Ряд других исследователей, исходя из того, что при работе с азотобактером они не наблюдали накопления в среде иных азотистых соединений, кроме белковых, кладет в основу объяснения химизма усвоения азота

гипотезу непосредственного связывания молекулярного азота органическим веществом самой клетки организма, причем получаются соединения ряда карбоновых кислот. Сюда можно отнести работы Герлах и Фогеля (Gerlach und Fogel; 8), Гейнце (Heinze; 9), Липмана (Lipman; 22, 23, 24).

В последние же годы разработка теории усвоения приняла несколько иное направление. Рядом экспериментальных работ установлена способность азотобактера к энергичному восстановлению таких соединений, как нитраты и аминокислоты. Отсюда подход к азотобактеру, как организму, обладающему ярко выраженной восстановительной функцией.

Способность восстанавливать азотную кислоту у клетки азотобактера неоднократно констатировалась рядом исследователей. Стоклаза (28), например, отметил это явление в цитированных нами работах. Восстановление азотной кислоты отмечается также и в работах Гильса (10) при культивировании азотобактера в анаэробных условиях; автор нашел, что восстановление идет только до нитритов, но не до аммиака. Однако, как Стоклаза, так и Гильс интересовались вопросом возможности связывания атмосферного азота при наличии в питательной среде связанных его форм, но не касались этого вопроса с точки зрения восстановительных функций этого организма. И Стоклаза и Гильс и ряд других исследователей, напр. Зунд (Zoond; 13), Бонацци (Bonazzi; 3) в своих исследованиях констатировали, что присутствие нитратов останавливает фиксацию азота.

Костычев и его сотрудники (15 и 16) подошли к этому факту с иной точки зрения, показав, что восстановление нитратов проходит через ряд ступеней: нитраты ⟶ нитриты ⟶ аммиак. На основании своих экспериментальных данных они приходят к заключению, что азотобактер обладает чрезвычайно ярко выраженными восстановительными свойствами. Этот факт ими был положен в основу объяснения химизма связывания азота.

В дальнейших работах Костычев и его сотрудники (17) подошли ближе к выяснению самого хода процесса. Они обнаружили значительное количество аммиака и аминогрупп в жидких культурах и так как почти весь азот, накоплявшийся в растворе, состоял из аммиачного и аминного, то авторы пришли к заключению, что аммиак является первичным продуктом усвоения молекулярного азота. Возражения о возможности накопления в растворе аммиака в процессе распада клеток авторы отводят, ссылаясь, с одной стороны, на молодость культуры, с другой, на отсутствие накопления пуриновых оснований. Эту точку зрения Костычев (20) проводит и в своем курсе «Физиологии растений», где он указывает, что связывание атмосферного азота происходит через восстановление его до аммиака. Активный водород,

необходимый для этой функции, организм получает в процессе дыхания и окисления того энергетического материала, которым пользуется организм. Таким образом, по теории Костычева связывание молекулярного азота идет следующим образом: молекулярный азот восстанавливается до аммиака, который идет на образование аминокислот, из которых строятся протеины.

Гипотеза гидрогенизации азота не нова: она была впервые высказана Виноградским в отношении другого фиксатора азота *Clostridium pasteurianum* еще в 1893 г. В дальнейших работах Костычев и его сотрудники подтвердили способность азотобактера восстанавливать азот не только минеральных соединений (нитраты), но и органических его форм (аминокислоты).

Вопрос о возможности использования азотобактером различных сложных азот содержащих веществ неоднократно освещался в специальной литературе; например, Фулер и Роттгер (Fuler and Rottger; 30) исследовали целый ряд органических азот содержащих веществ, начиная от простых аминокислот типа гликоколя, кончая индолом и скатолом. К этому же ряду работ можно отнести и работу Зунда.

К подтверждению идеи Костычева пришел в своих работах С. Н. Виноградский (7); используя в виде энергетического материала, в отличие от громадного большинства своих предшественников, соли органических кислот как жирного, так и ароматического ряда, он получил легко констатируемое образование аммиака в культурах азотобактера.

Принимая в основе гипотезу Костычева о гидрогенизации молекулярного азота, Виноградский дает несколько иное объяснение накоплению значительных количеств аммиака. По его мнению выделение клеткой аммиака происходит вследствие ее функционального расстройства, благодаря чрезмерному подщелачиванию среды при потреблении анионов кислоты.

Установленный Костычевым и Виноградским факт накопления в среде с азотобактером связанного азота в виде аммиачных соединений резко меняет представление о роли, которую играет эта группа микробов в азотном балансе почвы. Если ранее азотобактера считали аккумулятором атмосферного азота с переведением его в трудно доступную для высших растений форму органического азота, то теперь после исследований Костычева и Виноградского мы имеем совершенно иную картину, так как синтезированный азотобактером аммиак может уже в самый момент синтеза быть использован высшим растением непосредственно, как таковой, или же после соответствующего окисления нитрификаторами.

Работы Костычева были проведены с наиболее активными расами азотобактера, как *Azotobacter Winelandii* и *Azotobacter* agile, однако рас-

пространенность этих форм не так велика в сравнении с *Azotobacter chroococcum*, являющимся космополитом в смысле наличия его в самых различных широтах. Насущным представлялось поэтому проведение ряда исследований с этой расой для проверки обобщений данных предшествовавших авторов. При этом актуальной задачей является постановка опытов в присутствии всего комплекса почвенной микрофлоры, чтобы близко подойти к соотношениям, характерным для естественных условий.

Для проведения опытов была взята культура *Azotobacter chroococcum*, полученная из музея живых культур Института микробиологии ВАСХНИЛ, выделенная в чистую культуру из почв станции Имеретинской, Кубанской области.

Ориентировочные опыты были поставлены на кварцевом песке, пропитанном раствором состава Виноградского:

Дестиллированной воды	100.00 кг
K_2HPO_4	0.25 г
$MgSO_4$	0.15 „
$FeSO_4$	следы
$MgSO_4$	следы
Глюкоза	10.0 г
Мел	0.5 „

Кварцевый песок в количестве 150 г помещался в колбы Ру диаметром в 20 см, затем туда вливалось 45 см^3 питательной среды. Пробки и каучуки стерилизовались в автоклаве. Так же стерилизовалась и вся установка. После остывания в колбы вносилась 3—4-дневная культура азотобактера в объеме 10 см^3 на колбу. Колбы соединялись с одной стороны со склянкой Тищенко, наполненной технической серной кислотой и служащей для поглощения аммиака, находящегося в воздухе, аммиак же, выделяющийся из культуры, поглощался n/10 титрованной серной кислотой.

Чистота культуры проверялась вначале только микроскопически, а при дальнейших опытах и высевом на мясопептонный агар или желатину и в мясопептонный отвар. Из химических анализов производились определение аммиака по методу Лонге (отгон с магнезией), определение аминогрупп по Ван Сляйку и общего азота по Кьельдалю.

Предварительные опыты показали, что, несмотря на меньшую адсорбционную способность песка в сравнении с кремнекислым гелем, все же можно получать аммиак в количествах, вполне учитываемых аналитически. Напр., шестидневные и десятидневные культуры дали ощутимые количества аммиака (см. табл. 1 и 2).

Таблица 1

Шестидневная культура *Azotobacter chroococcum* на 5 кг глюкозы + 10 куб. взвеси

№	№ определ. по Лонге в мг	№ определяемый по Кьельд. в мг	Примечание
1	3.92	19.31	Незначительные потери при перегоне.
2	2.10	13.91	
Контр. . . .	—	0.48	

Таблица 2

Десятидневная культура *Azotobacter chroococcum* на 10 г глюкозы + 10 куб. взвеси

№	№ определ. по Лонге в мг	№ определяемый по Кьельд. в мг
1	6.44	44.80
2	5.46	25.28
Контр. . . .	—	0.96

Далее был заложен длительный опыт, чтобы учесть во времени накопление аммиака, поведение аминогрупп и расходование сахара, с тем чтобы отметить характерное различие в отношении выделения аммиака этой культурой как в присутствии энергетического материала, так и в его отсутствие. Учеты производились на 2-й, 3-й, 4-й, 8-й, 16-й день после постановки опытов. Данные сведены в табл. 3.

Таблица 3

Azotobacter chroococcum. Внесено 5 г глюкозы + 10 куб. взвеси 3-дневной культуры

Через сколько дней снят опыт	№	№ определ. по Лонге в мг	№ определ. по Ван Слайку в мг	Расходование сахара	№ определ. по Кьельд. в мг
2 дня	1	0.42	—	+	—
	2	0.56	2.62	+	3.17
3 »	1	1.12	3.57	+	6.70
	2	1.26	3.43	+	7.45
5 дней	1	1.12	4.83	+	—
	2	1.26	4.03	+	12.07
8 »	1	1.68	4.40	—	18.30
	2	1.54	4.93	—	19.38
16 »	1	4 20	3.05	—	—
	2	5.46	3.09	—	17.39
Контр.	+	0.14	0.49	+	0.50

При просмотре данных опытов необходимо отметить: 1) накопление аммиака при наличии энергетического материала, колеблющееся в незначительных пределах и представляющее собою довольно устойчивую величину и 2) накопление аммиака после потребления энергетического материала, имеющее тенденцию к возрастанию и совпадающее по времени с уменьшением как азота аминогрупп, так и общего азота.

По Костычеву это объясняется тем, что в первом случае идет ассимиляционное накопление аммиака, относимое им к первичным продуктам ассимиляции, во втором же случае полученный аммиак является результатом дезаминирования в процессе распада скелета самого азотобактера.

Вероятность наличия дезаминирования подтверждается тем, что накопление аммиака в этот период сопровождается уменьшением аминогрупп или их распадом. Что же касается первичного накопления аммиака, то оно может быть оспариваемо на том основании, что при массовом внесении клеток азотобактера (10 см^3 разводки), хотя бы и молодых, но не являющихся конечно одинаковыми в смысле энергии их жизнедеятельности, может произойти накопление аммиака не за счет ассимиляционной деятельности азотобактера, но в результате диссимиляционного распада.

В дальнейшем постановка опытов была несколько изменена. Песок заменен кремнекислым гелем, а большие колбы Ру заменены колбами Виноградского для культур со сменными растворами, обеспечивавшими хорошее продувание воздуха над поверхностью и экономию в расходовании материалов, так как они имели в диаметре 12—13 см; кроме того они при внесении питательного раствора более быстро просушивались, чем большие колбы.

В остальном методика оставалась та же, количество же вносимой культуры уменьшилось до 1—2 кубиков взвеси.

На очередь были поставлены опыты на средах, содержащих аминокислоты в виде гликокола, с целью выяснить способность *Azotobacter chroococcum* к дезаминированию этого соединения или же, как считают Фулер и Роттгер, использованию их аминной группы.

В минеральную среду Виноградского вносился гликоколь из расчета 10 мг азота на колбу. Засев 2 см^3 взвеси *Azotobacter chroococcum* (см. табл. 4).

Оказывается, что *Azotobacter chroococcum* медленно потребляет аминокислоты; за 4 дня разложено всего 2.53 мг.

Во второй постановке доза аминокислот была увеличена до 70 мг на аминный азот (данные см. в табл. 5).

Таблица 4

Через сколько дней снят опыт	№ определ. по Лонге в мг	№ определ. по Ван Сляйку в мг	№ определ. по Кьельд. в мг
2 дня	0.84	8.92	8.96
4 »	1.54	8.05	8.06
Контр.	—	10.58	10.58

Таблица 5

Через сколько дней снят опыт	№ определ. по Лонге в мг	№ определ. по Ван Сляйку в мг	№ определ. по Кьельд. в мг
2 дня	0.56 0.84	69.88 69.30	69.80 69.44
4 »	1.12	66.59	66.50
Контр.	—	72.57	72.57

Результаты опыта в основном повторяют данные табл. 4. В обеих постановках происходила несомненная потеря аммиака или же образование веществ, азот которых неопределим по Кьельдалю. Ассимиляции азота в обоих случаях не наблюдалось.

Дальнейшее развитие опытов шло в направлении одновременного обеспечения азотобактера как энергетическим материалом в виде глюкозы, так и гликоколем.

Однако, нас ждало здесь неожиданное осложнение; оказалось, что в контрольной колбе, оставленной без заражения, значительно уменьшилось количество аминокислот, хотя общее количество, определяемое по Кьельдалю, осталось тем же самым.

Условия опыта: одновременно с гликоколем, внесенным из расчета 70 мг аминного азота, вносился 1 г глюкозы, в остальном постановка идентична предыдущей. Данные см. в табл. 6.

Таблица 6

Через сколько дней снят опыт	№ определ. по Лонге в мг	№ определ. по Ван Сляйку в мг	№ определ. по Кьельд. в мг
2 дня	1.82	68.10	85.68
4 »	2.38	56.97	73.90
Контр. . . .	—	66.54	72.08

При несомненном наличии процессов ассимиляции азота необходимо отметить понижение азота аминокислот в контроле. Это явление уже было описано Костычевым и Бриллиант (19).

Дальнейшие исследования превращения аминокислот в присутствии глюкозы не входили в задачи исследования и были оставлены. Вместе с тем, чтобы обойти затруднения, связанные с применением глюкозы, было приступлено к постановкам опытов на бензойнокислом натре, представляющем, по Виноградскому, один из наиболее выгодных источников углерода. Этой постановкой предполагалось добиться больших выходов аммиака еще и на том основании, что после потребления анионов бензойной кислоты катионы натрия, подщелачивая среду, должны будут содействовать вытеснению аммиака.

Условия опытов: в солевой раствор вместо глюкозы вносилось 1.05 г бензойнокислого натра, в остальном постановка оставалась та же. Опыты с двумя культурами — *Azotobacter chroococcum* и *Azotobacter Winelandii*.

Данные см. в табл. 7 и 8.

Таблица 7

Внесена культура *Azotobacter Winelandii*

Через сколько дней снят опыт	№ определ. по Лонге в мг	№ определ. по Ван Сляйку в мг	№ определ. по Кьельд. в мг
6 дней	1.96	2.00	5.44
12 »	1.84	2.34	2.38
Контр.	0.42	1.000	1.00

Таблица 8

Засев *Azotobacter chroococcum*

Через сколько дней снят опыт	№ определ. по Лонге в мг	№ определ. по Ван Сляйку в мг	№ определ. по Кьельд. в мг
6 дней	1.4	4.07	4.40
8 »	1.12	3.54	3.96
12 »	1.96	2.26	3.08
Контр. . . .	0.42	1.00	1.00

Обе расы ассимилируют газообразный азот при наличии энергетического вещества в виде бензойнокислого натра. Накопление аммиака также шло достаточно энергично. В опыте с *Azotobacter chroococcum* одновременно с выделением аммиака постепенно падает азот аминокислот, однако это уменьшение аминного азота по количеству не отвечает образованию ам-

миака. Наблюденное было подтверждено повторной постановкой, данные которой см. в табл. 9—10. И в том и в другом случаях наблюдается убывание азота аминокислот с одновременным нарастанием аммиака, но количества получаемого аммиака превышают количества аминного азота. Повидимому одновременно протекают два различных процесса. С одной стороны, идет накопление аммиака вследствие дезаминирования аминогрупп, с другой, это накопление необходимо отнести за счет процесса ассимиляции азота, так как полученный аминный азот превышает в значительной мере азот, внесенный в виде клеточного вещества.

Таблица 9

Засев *Azotobacter chroococcum*

Через сколько дней снят опыт	№ определ. по Лонге в мг	№ определ. по Ван Сляйку в мг
6 дней . . .	0.56	2.9
10 »	0.70	2.84
14 »	0.96	2.25
Контр.	—	0.50

Таблица 10

Засев *Azotobacter Winelandii*

Через сколько дней снят опыт	№ определ. по Лонге в мг	№ определ. по Ван Сляйку в мг
6 дней	0.50	2.50
10 »	0.70	2.27
14 »	0.84	2.25
Контр.	—	—

Ввиду ясного наличия процесса дезаминирования было интересным установить, насколько быстро происходит автолиз клеток в условиях нашего опыта, тем более, что в литературе имеются указания об относительной способности клеток азотобактера противостоять разрушению, чем и обусловливается возможность долгого сохранения культуры, до 10 лет (29).

Если относить аммиак, образовавшийся в культуре, отчасти к продуктам дезаминирования, естественна мысль, что он мог бы образоваться в случае частичного автолиза клеток азотобактера.

Опыты с автолизом клеток азотобактера были проведены в условиях различной величины pH.

Условия опыта были следующие. Выращенная в больших пробирках на среде Эшби слизистая культура азотобактера снималась стерильным шпателем в стерильную ступку, куда вносился 1 г стерильного песка 1 см^3 толуола; в течение часа смесь растиралась пестиком, затем содержимое ступки смывалось в колбу 75 кубиками стерильной воды, из колбы бралось по 25 кубиков жидкости и разливалось в маленькие колбочки. В одной из них реакция оставалась при pH-7.0 в другой подкислялась до pH-35 и в третьей подщелачивалась до pH-8.4. Опыт поставлен с обеими культурами. Учет производился на 6-й день. Данные см. в табл. 11.

Таблица 11

pH	*Azotobacter chroococcum*		*Azotobacter Winelandii*	
	№ определ. по Лонге в мг	№ определ. по Ван Слайку в мг	№ определ. по Лонге в мг	№ определ. по Ван Слайку в мг
7.0	—	0.22	—	0.47
8.4	—	0.32	—	0.47
3.5	—	0.56	—	0.67

В обеих культурах наиболее резко выраженный распад клеток происходит в кислом интервале, при котором, несмотря на полное отсутствие аммиака, количество аминогрупп увеличилось вдвое по сравнению с нейтральным пунктом.

Проведенный опыт говорит нам, что энергия автолиза у клеток азотобактера вообще очень невелика и сводится к особенно низким величинам при обычной нейтральной реакции; надо думать поэтому, что в культурах появление значительного количества аминокислот не может быть объяснено процессами автолиза, а скорее идет в результате строительного обмена веществ.

Последним этапом работы была постановка опытов при наличии всего комплекса почвенного микробного населения по методу Виноградского на кремнекислом геле. Из источников энергии были испробованы: бензойнокислый натр, яблочная кислота, уксуснокислый натр и маннит. Засев богатой азотобактером почвы дал во всех случаях хороший рост. Однако поведение его в смысле выделения NH_3 было резко различно в зависимости от употребляемого источника энергии. Напр. пластинки с бензойнокислым натром уже через 12 часов дают посинение лакмусовой бумажки, благодаря выделению аммиака, и pH на третьи сутки поднялся до 9.5.

Пластинки с уксуснокислым натром дают меньшее прорастание и лишь на 2-й день дают ясную реакцию на лакмус с pH, достигающей 9.5.

Яблочная кислота и маннит дают хорошее развитие азотобактера, но среда при этом не подщелачивается и реакция на лакмус не дает посинения.

Подводя итог работе, можно сделать следующие выводы.

1) Накопление аммиака азотобактером наблюдается как в культуре *Azotobacter Winelandii* так и с *Azotobacter chroococcum*.

2) Это накопление идет на различных энергетических источниках, напр. глюкоза, маннит, уксуснокислый натр, бензойнокислый натр.

3) Химизм усвоения азота у обеих рас одинаков, но у *Azotobacter Winelandii* он проходит несколько быстрее.

4) Накопление аммиака в среде может быть объяснено как функция жизнедеятельности азотобактера, автолиз же у этих организмов может в значительной мере протекать только в кислой среде.

Все опыты были проведены в нейтральной и слабо щелочной среде и таким образом исключалась возможность автолиза.

5) Опыты с бензойнокислым натром показали, что накопление аммиака в среде происходит как за счет дезаминирования аминогрупп, так и за счет ассимиляции молекулярного азота.

6) При даче аминокислот как энергетического материала наблюдается и дезаминирование, но в меньшей степени, чем это имелось в опытах Костычева и его сотрудников.

7) Проверка данных в опытах, близких к естественным условиям, показала, что выделение аммиака возможно в естественных условиях, и быстрота этого процесса, а также количества аммиака в сильной степени зависят от природы энергетического материала; это является чрезвычайно важным моментом, так как дает возможность разрешить вопрос о наиболее быстром использовании ассимилированного азотобактерами азота высшим растением.

Работа выполнена в Лаборатории биохимии и физиологии растений Академии Наук СССР в качестве плановой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блом (Blom). Zbl. f. Bakt., Abt. II, Bd. 84, 1931.
2. Блом (Blom). Bioch. Ztschr., Bd. 194, 1928, S. 385.
3. Ваксман (Waksman). Principles of Soil Microbiology, 1927, p. 573.
4. Бонацци (Bonazzi).[1]
5. Виноградский (Winogradsky). C. R., vol. 3, 1893, p. 1385—1388.

[1] Цитировано по Виноградскому, Ann. Inst. Pasteur, 1932.

6. **Виноградский** (Winogradsky). Ann. Inst., Pasteur, № 3, 1932.
7. **Виноградский** (Winogradsky). Ibidem, № 10, 1932.
8. **Герлах и Фогель** (Gerlach und Fogel). Zbl. f. Bakt., Abt. II, Bd. 3, 1903, S. 484.
9. **Гейнце** (Heinze). Ibidem, Bd. 12, 1904, S. 43.
10. **Гилье** (Hils). Journ. of. Agric. Research, vol. VII, p. 183.
11. **Готье и Друэн** (Gautier et Drouin). C. R., 1888, p. 106, 160.
12. **Готье и Друэн** (Gautier et Drouin). Ibidem, 1891, p. 113, 82.
13. **Зунд** (Zoond). The Brit. journ. of Exper. Biol., vol. IV, № 2, 1926, p. 105.
14. **Ивасаки** (Iwasaci). Bioch. Ztschr., Bd. 226, H. 3, S. 32.
15. **Костычев, Рыскальчук и Швецова** Тр. Отд. с.-х. микробиол. ГИОА, т. I, 1926, стр. 91.
16. **Костычев и Швецова**. Ibidem, т. 2, 1927, стр. 113.
17. **Костычев и Рыскальчук**. C. R., vol. 180, 1925, p. 2070.
18. **Костычев и Шелоумова**. Изв. Акад. Наук, Отд. мат. и ест. наук, 1931, стр. 661—671.
19. **Костычев и Бриллиант**. Ztschr. f. physiol. Chem., Bd. 127, 1923, S. 224.
20. **Костычев**. Chem. Plant Physiologie (перевод на английский 1931), ch. VIII, p. 3
21. **Лев и Азо** (Loew and Aso). Zbl. f. Bakt., Abt. II, Bd. 22, 1909, S. 452.
22. **Липман** (Lipman). New Jersey stat., report, vol. 21, 1903, p. 217.[1]
23. **Липман** (Lipman). Ibidem, vol. 25, 1904, p. 231.
24. **Липман** (Lipman). Ibidem, vol. 26, 1906, p. 254.
25. **Мейергоф Отто и Бирк** (Meyerhof Otto und Burk). Ztschr. f. phys. Chem., Bd. 139, 1928, S. 117.
26. —— und **Schulz**. Bioch. Ztschr., Bd. 250, H. 1, 1932, S. 35.
27. **Стоклаза** (Stoklasa). Zbl. f. Bakt., Abt. II, Bd. 21, 1908, S. 489.
28. —— Ibidem, S. 625.
29. **Омелянский** Тр. отд. с.-х. микробиол. ГИОА, т. I, 1926, стр. 85.
30. **Фулер и Роттгер** (Fuler and Rottger). Soil Sci., vol. XXXI, № 3, 1931.

---

[1] Цитировано по Костычеву. Тр. Отд. с.-х. микробиол. ГИОА, т. I, 1926, №№ 22—24.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1933
BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS
Classe des sciences mathématiques et naturelles
Отделение математических и естественных наук

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОРГАНОВ БОКОВОЙ ЛИНИИ *TRITON TAENIATUS* В СВЯЗИ С УСЛОВИЯМИ СРЕДЫ

Е. Д. КОНЖУКОВОЙ

(*Представлено академиком* Н. В. Насоновым)

Часть первая

I. ВВЕДЕНИЕ

Система органов и нервов боковой линии представляет у водных позвоночных значительный отдел центральной нервной системы по количеству и по объему входящих сюда элементов. У рыб данная система функционирует в течение всей жизни. Она имеется у всех амфибий на стадии головастика. У бесхвостых амфибий метаморфоз, связанный с переходом к наземной жизни, ведет за собой полную редукцию всей системы. Представитель хвостатых амфибий тритон — является интересным объектом в том отношении, что у него ежегодно происходит полная смена жизненных условий и среды, и деятельность органов боковой линии, являющихся специфическими водными органами, таким образом, периодически прекращается и восстанавливается вновь.

Функция органов боковой линии долгое время не представляла полной ясности. Первыми исследователями органы боковой линии принимались за железистые образования Монро (Monro, 1875), более поздними — сравнивались морфологически и функционально со вкусовыми почками. В последнее время вопрос является более разрешенным в связи с работами Паркера (Parker, 1904), Гофера (Hofer, 1907), экспериментальными работами Рода (Rod, 1926) и исследованиями Конрада Гертера (Konrad Herter, 1926). Суммируя выводы всех указанных авторов, относящиеся исключительно к рыбам, можно заключить: система органов и нервов боковой линии может быть соединена вместе с системой acuticus в общую группу статических

органов чувств, и, как таковая, представляет подсобный аппарат равновесия, позволяющий улавливать слабые или отраженные токи воды и ориентироваться в водном пространстве. Экспериментальных работ, в которых исследовались бы функции органов боковой линии у амфибий, в литературе нет.

Задачей моей работы явилась попытка осветить с помощью морфологического анализа роль и значимость функции для системы органов и нервов боковой линии у *Triton taeniatus*, а также выяснить, что является стимулирующим для деятельности боковых органов: среда или время года, т. е. обусловлена ли деятельность органов водной средой, или она периодична и связана с сезоном. Для этой цели было произведено исследование тех изменений, которые происходят в системе органов и нервов боковой линии у *Triton taeniatus* при переходе от водной жизни к наземной и обратно. Это исследование проводилось в двух направлениях. С одной стороны, для установления типичных стадий, которые могли бы служить стандартами для сравнения, явилась необходимость выяснить морфологические изменения, происходящие в указанной системе у животных, взятых из естественных условий на стадиях головастика, в стадии водной жизни и наземной.

С другой стороны, полученные данные морфологического анализа были дополнены методом экспериментального исследования; именно: постановкой ряда опытов, нарушающих и изменяющих естественные для данного животного условия.

Настоящая работа начата по инициативе покойного акад. П. П. Сушкина и выполнена в качестве квалификационной аспирантской работы в Зоологическом отделении Научного института им. Лесгафта. В процессе работы мною были использованы ценные советы акад. Н. В. Насонова, которому и приношу мою благодарность.

Литературный обзор. Упоминание об органах боковой линии впервые появляется в работе Лейдига в середине прошлого столетия. Франц Шульц, (Franz Schultz) первый признает органы боковых линий амфибий за особые специально-чувствительные аппараты. Лейдиг (Leidig, 1876) дает уже подробное описание всей системы. С тех пор большое количество исследований посвящено подробному описанию периферических органов и подходящих к ним нервов системы Lateralis. Стронг (Strong, 1895) устанавливает пути латеральных волокон (Special cutaneus system) в путях Facialis, Glossophаringeus и Vagus. Колли (Colli, 1896) и Геррик (Herrik, 1899) предполагали, что по своему происхождению, нервы боковой линии принадлежат к системе acustico-facialis, и связь их с блуждающим нервом в области тела и тройничным в области головы, является вторичной. Когхилл (Coghill, 1902) дает

подробное описание головных нервов *Triton taeniatus*, не выделяя нервов боковой линии в качестве самостоятельной системы.

В обстоятельной работе Дрюнера (Drüner, 1901 и 1904) пути латеральных волокон тщательно прослежены у различных представителей *Urodela*. Гедж (Gage, 1893), исследуя центральную нервную систему *Diemyctilus viridescens*, дает описание боковых нервов, в числе остальных нервов головы. Большинство авторов, цитированных выше, при исследовании черепных нервов *Urodela*, описывало латеральные нервы, как принадлежащие к корню Trigeminus или Facialis, в переднем отделе и к корням IX и X, в заднем отделе тела. Внешняя морфологическая связь, очень тесная, которая всегда имеется у боковых нервов с указанными корнями V—VII и IX—X, была решающей для того, чтобы толковать боковые нервы в качестве компонентов общей кожной чувствительной иннервации. Только в последнее десятилетие тщательным изучением внутри мозговых путей латеральных волокон, исследованием топографии центральных ядер, которые всегда располагаются в Area somato-sensibilis продолговатого мозга (area acustico-lateralis), а также доказанностью функциональной связанности аппаратов латерального и VIII (экспериментальные работы), заставило выделить нервы боковой линии из комплекса элементов общей кожной чувствительности.

В вышедшей в 1920 г. большой сводной работе Капперса (Kappers) этот вопрос детально рассмотрен. Капперс объединяет систему боковых нервов и систему VIII в общую группу статических органов чувств на основании общности происхождения, сходства концевых аппаратов и близкого родства центральных ядер. Рётиг (Rötig, 1927) на сравнительно-морфологическом материале дает точные указания на внутри мозговые пути латеральных волокон, на структуру area acustico-lateralis, с расположенными в ней центральными ядрами системы боковых линий.

Среди перечисленного длинного ряда работ несколько особняком стоят исследования Маурера (Maurer, 1892), сравнительно анатомического характера, где автор, рассматривает органы боковой линии в качестве источника, из которого развились волосы млекопитающих. Далее — экспериментальное исследование Гаррисона (Harrison, 1903), устанавливающего развитие органов боковой линии, в случаях сложных и многочисленных трансплантаций.

Появившаяся в 1929 г. чрезвычайно интересная работа Гёпперта (Göppert) рассматривает метаморфоз, как естественный эксперимент для редукции мощной системы боковых нервов у ряда представителей *Urodela* (*Salamandra maculosa, Molge crystatus* и *Monobranchus*)

Метод. Весь материал, использованный в работе, подвергался одинаковой гистологической обработке. В качестве фиксирующей смеси употреблялась для всех объектов сулема с уксусной кислотой. Окраска производилась по способу Блохмана, т. е. объекты тотально окрашивались борным кармином, с дополнительным прокрашиванием срезов Вассерблау с пикриновой кислотой. Серии срезов приготовлялись в 5μ толщиной для изучения периферических органов боковой линии, и толщиной в 10μ для последующих реконструкций периферических нервных стволов. Графическая реконструкция нервных элементов была проделана с помощью микрокамеры для реконструкций, а также с рисовальным аппаратом Leitz.

II. СИСТЕМА ОРГАНОВ И НЕРВОВ БОКОВОЙ ЛИНИИ У ТРИТОНА В ПЕРИОДЫ ВОДНОЙ И НАЗЕМНОЙ ЖИЗНИ

1. Стадия головастика у *Triton taeniatus*

Периферические органы боковой линии, рассеянные в эпидермисе, образуют в голове и теле головастика известные, описанные давно, системы линий. Линии боковых органов, расположенные на брюшной и боковых поверхностях головы (l. l. angularis, jugularis, hyomandibularis) часто варьируют в своем расположении и числе. Более устойчивыми и всегда отчетливо представленными являются боковые линии, расположенные на дорсальной поверхности головы (l. l. supraorbitralis, infraorbitralis), опоясывающие сверху и снизу глаз и расходящиеся затем в носовой области вблизи наружных ноздрей, и linea mandibularis, проходящая по краю нижней челюсти.

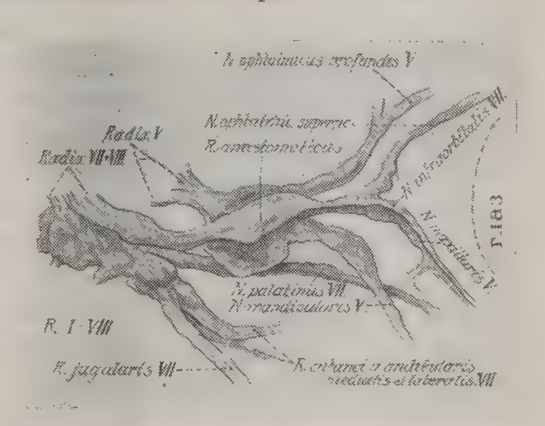
В области тела, сейчас же за жабрами (у головастика), начинается L. lateralis media, проходящая примерно на уровне перегородки между дорсальной и вентральной мускулатурой. Пройдя вдоль всего тела, она заканчивается в начальной части хвоста. Выше и ниже l. lateralis media, параллельно ей, проходят: l. lateralis superior, начинающаяся поблизости от передних конечностей, и l. lateralis inferior, проходящая до задних конечностей.

Все периферические чувствительные органы головастика тритона, как будет видно из прилагаемых рисунков, получают иннервацию от нервных ветвей, следующих в своем распространении за направлением боковых линий головы и тела животного. Вся головная часть органов снабжается латеральными нервами, выходящими из продолговатого мозга, совместно с комплексом VII + VIII (Facilis-acusticus), в составе дорсального корня

последнего. Органы боковых линий тела иннервируются волокнами, отходящими от мозга в составе IX + X (Glossopharyngeus-vagus), и, пройдя через соединенный ганглий последнего, направляются вдоль всего тела, следуя за периферическими боковыми линиями.

Несмотря на весьма тесную связь с корнями VII и X, все комплклексы нервов боковых линий представляют самостоятельную, обособленную систему, связанную функционально с системой VIII нерва.

Дорсальный корень комплекса VII + VIII (Facialis-acusticus) у головастика тритона довольно отчетливо отделяется от общего корня VII + VIII (фиг. 1). Он отходит от Medulla oblongata, неся в своем составе все чувствительные и двигательные волокна VII, а также все латеральные волокна, снабжающие органы боковой линии головы. Значительная часть волокон направляется вперед, в голову, образуя R. anastomoticus VII, которая проходит по дорсальной поверхности гассерова ганглия, близко к нему прилегая, и образует здесь небольшое взбухание не видимое макроскопически (Ganglion facialis anterior). Сейчас же после гассерова ганглия R. anastomoticus распадается на r. ophthalmicus superficialis, идущую по верхнему краю глаза, вначале параллельно r. ophthalmicus prophundus V, отходящей крупной ветвью от гассерова ганглия. Вторым компонентом r. anastomoticus является r. infraorbitalis, проходящая вентрально от глазного яблока и следущая за направлением одноименной линии боковых органов. R. innfraorbitalis идет, тесно примыкая, часто даже сливаясь, с r. maxillaris V, отходящей от гассерова ганглия не в качестве самостоятельного ствола, но как часть r. anastomoticus (фиг. 1). Далее r. maxillaris проходит через максиллярную кость и идет по направлению верхней губы. R. infraorbitalis (r. buccalis по Coghill) проникает через стенку носовой капсулы, проходя каудально от назального эпителия и внутренних ноздрей.



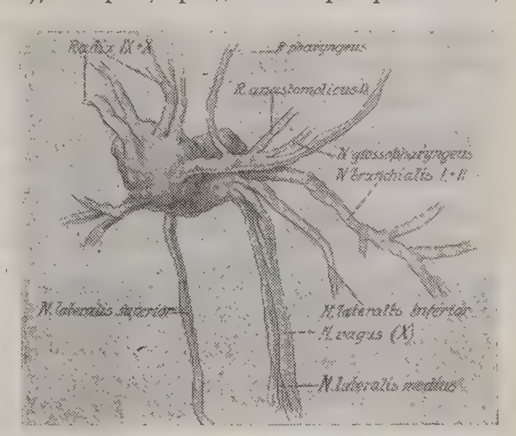
Фиг. 1. Нервы боковой линии головастика тритона (реконструкция). Отхождение от продолговатого мозга, тройничного (V) нерва и комплекса VII—VIII.

Другая значительная часть волокон дорсального корня VII + VIII отходит от продолговатого мозга, образуя более или менее значительный

ганглий (Gang. facialis) и отдавая затем крупную ветку, направляющуюся вперед — r. palatinus. Последняя проходит, затем, сбоку вокруг каудального края внутренних ноздрей к крыше ротовой полости. Остальная часть волокон образует две ветви, несущие латеральные волокна к вентральной поверхности головы: r. cutaneus mandibuli medialis и r. cut. mand. lateralis. Последняя проходит в нижнюю челюсть, достигает ее нижней стороны самостоятельным стволом r. jugularis, идет в дальнейшем в направлении musculus cerato hyoideus. После отхода R. anastomoticus, дорсальный корень идет вбок и вниз, соединяясь вскоре с вентральной частью facialis-acusticus. Последний хорошо отличим с дорсальной стороны. От ганглия VIII отходят значительные ветви для иннервации чувствительного эпителия слуховой области и лабиринта. Только что описанные данные, весьма близки к таковым Гопперта, который дает картины ветвления боковых нервов для молодых стадий личинок саламандры. Именно: дорсальный корень VII—VIII также ясно отделяется от вентрального при выходе из Medulla oblongata. У стадий, еще сохранивших желточный мешок, между вентральным и дорсальным корнем имеется даже некоторый промежуток. Дорсальный корень делится, затем, на две части, из которых одна переходит в Facialis, другая же, внутри полости черепа, проходит косо вниз и достигает Ganglion trigemini (r. anastomoticus). У личинок саламандры, на дорсальной стороне V ганглия, r. anastomoticus образует удлиненный gan. n. facialis anterior. Гопперт отмечает у молодых личинок, еще снабженных желточным мешком, почти шарообразную форму ганглия. Далее Гопперт упоминает о значительной разнице в структурах ганглия V и VII. Ganglion Facialis anterior на препаратах выглядит прозрачнее, чем ганглий V. Аналогичные препараты исследованного мною *Tr. taeniatus* подобной резкой разницы не обнаружили. Дальнейшее распространение нервных ветвей (r. ophthalmicus superficialis, r. infraorbitalis) у личинки саламандры, повидимому, совпадает с таковым у *Tr. taeniatus*. Что упомянутые нервы несут почти исключительно латеральные волокна, видно из того (Göppert), что после метаморфоза, у молодой саламандры они претерпевают почти полную редукцию. Проводя, далее, сравнение с *Amblystoma tigrinum* (Coghill), находим такое же отхождение боковых нервов. От V (гассерова) ганглия отходит один, чисто латеральный, по составу волокон, нерв, идущий по верхнему краю глазного яблока — n. ophthalmicus superficialis VII. Второй нерв этой области состоит из латеральных и кожных волокон — n. infraorbitalis. Волокна, идущие к вентральным боковым органам головы, отделяются от ганглия в самостоятельные стволы: r. mentalis externus Coghill

(-ram. mandibularis lateralis Drünner) и r. mentalis internus (r. mandibularis medialis).

Боковые линии тела у головастика тритона идут тремя параллельными рядами, протягиваясь вдоль всего туловища. Они получают иннервацию от латеральных стволов, выступающих из продолговатого мозга, в составе комплекса glossopharyngeus-vagus. Последний отходит от мозга четырьмя отдельными и корешками (фиг. 2), которые, пройдя некоторое расстояние, взбухают в крупный двойной ганглий IX и X нервов. Передний корень отходит от Medulla oblongata более дорсально, по сравнению с остальными корнями, отходящими значительно более вентрально. У молодых стадий личинок тритона ганглий представляет вытянутое в длину, округлое двойное тело, с ясно обособленным ганглием glossopharyngeus, расположенным более медиально (фиг. 2). После некоторого сужения ганглий IX + X образует второе более мощное взбухание, принимая в себя волокна дорсального корня. Боковые нервы, снабжающие волокнами все периферические органы боковых линий туловища, связаны с последним ганглием так же, как и элементы блуждающего нерва. От gang. glossopharyngeus в его медиальной части отходит крупная ветвь, несущая чувствительные волокна (R. anastomoticus IX), которая идет вперед по направлению к головному краю, в дальнейшем, вступая в связь с r. jugularis VII. Значительный по объему ствол Glossopharyngeus, являющийся основанием, с которым связана вышеуказанная r. anastomoticus IX и еще другие, проходит в сторону и, в начале своего пути несколько вперед, снабжая иннервацией соответствующие области головы. Латеральные компоненты, попадающие через дорсальный корень в ганглий Vagus, покидают его (фиг. 2) в составе трех нервов, идущих параллельно боковым линиям. Nervus lateralis media иннервирует среднюю боковую линию и покидает ганглии X совместно с n. vagi (r. intestinalis); последний представляет мощный пучок, несущий чувствительные волокна для всего тела животного. Средний нерв боковой линии, на некотором участке своего



Фиг. 2. Нервы боковой линии головастика тритона (реконструкция). Отхождение от продолговатого мозга комплекса IX—X.

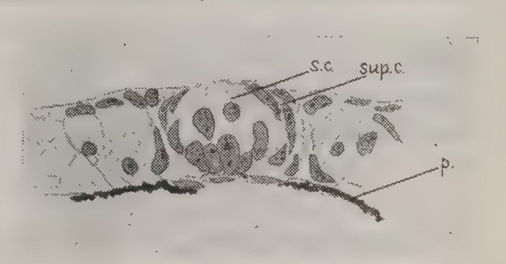
пути, идет, тесно связанный с r. intestinalis, и в дальнейшем, отделяясь от него, идет несколько извилистым путем, отдавая волокна, проходящие между миосептами, к чувствительным органам средней боковой линии. В сторону от совместного отхождения среднего бокового нерва, и нерва блуждающего, иногда примыкая к ним довольно близко — отходит n. lateralis inferior, проходящий, затем, вбок и следующий направлению L. lateralis inferior. Верхняя боковая линия тела получает иннервацию от n. lateralis superior, отходящего самостоятельным стволиком (фиг. 2) на некотором расстоянии от места отхождения n. vagi.

Сопоставляя мои данные для головастика *Tr. taeniatus* с пластическими моделями (Göppert) для личинки саламандры, находим, что у личинки саламандры комплекс IX+X является таким же мощным образованием. Дорсальный корень, вступающий в ганглий, чрезвычайно резко обособлен от остальных и содержит латеральную часть vagus. Остальные корни вступают в ганглий с медиальной стороны. Ганглий glossopharyngeus представляет собой грушевидное, продолговатое, поперечно направленное тело, к вентральной части которого примыкает gang. vagus. Последний образует здесь еще более, чем у головастика тритона, отграниченную часть с выступающим из него стволом Vagus. Для самых молодых стадий (еще снабженных желточным мешком) Гепперт выделяет еще gang. lateralis, отличимый в дорзальной части общего ганглия. Латеральные волокна покидают ганглий в стволах Nr. lateralis и media. Заметная редукция, которую претерпевают указанные стволы так же, как и вся каудальная часть ганглия, убеждает с несомненностью Гепперта, что эта часть заключает в себе все латеральные волокна для расположенного позади лабиринта отдела системы боковых линий. Когхилл для амблистомы указывает довольно постоянное расположение и отхождение (n. glossopharyngeus, одной ветвью, и n. vagus тремя большими ветвями. Ветви боковых нервов отходят отдельно. Когхилл указывает также на n. supratemporalis, который является чисто боковым нервом. У головастика тритона означенного нерва не наблюдается. Дрюнер также его считает отсутствующим для тритона. R. lat. superior и r. lat. inferior также описаны Когхиллом для амблистомы, хотя он отмечает иногда связь боковых нервов с r. branchialis, проникающей в мускулатуру чрезвычайно запутанным образом. R. anastomticus IX Когхилл рассматривает, как смешанную ветвь, содержащую чисто кожные волокна от X и волокна, смешанные, от IX. Общие кожные волокна проникают в дальнейшем в r. jugularis, смешанные волокна входят в состав — r. alveolaris.

Таким образом, система боковых линий является сходной, по общему принципу и отхождению нервных стволов у тритона, саламандры и амблистомы, рассмотренных в личиночной стадии.

У головастика тритона описанные только что компоненты латеральной системы представлены значительными по объему нервными стволами, несущими из центральных ядер в продолговатом мозгу рецепторные волокна к периферическим органам.

Органы боковой линии у головастика *Tr. taeniatus* особенно многочисленны. Развиваясь всегда из эктодермического зачатка, орган в развитом состоянии состоит из эктодерамальных клеток, уже диференцированных и сильно специализированных, которые отличаются заметно от окружающих его клеток двуслойного, на ранних стадиях, или многослойного эпителия покровов кожи. Весь орган у головастика тритона (фиг. 3) представляет почти сферическое образование, лежащее поверхностно и резко выделяющееся на препаратах среди окружающего эпителия. Центральную часть органа занимают грушевидные чувствительные клетки, с круглым или овальным ядром, лежащим базально или в средине клетки. У молодых экземпляров величина ядра очень значительна, иногда занимает треть клетки. Вокруг чувствительных располагаются удлиненные, столбчатые клетки, с веретенообразным ядром, которые являются клетками опорными. На поперечном срезе, проведенном через начало органа, отчетливо видно положение опорных клеток, окружающих орган со всех сторон и изолирующих чувствительные клетки от располагающихся рядом клеток эпителия. Срез, проведенный через середину органа (фиг. 3) дает ясное представление о центральном положении чувствительных клеток и об их количестве, которое у головастика значительно превышает количество клеток опорных. Пигментный слой, подстилающий обычно эпидермис, прерывается непосредственно вблизи органа, или протягивается тонким слоем под ним. Опорные клетки на этой стадии широко раздвинуты по сторонам органа, своими удлиненными концами обращены к периферии. Точно так же и периферические концы чувствительных клеток заострены в виде тонких шипиков и выдаются над поверх-



Фиг. 3. Орган боковой линии головастика тритона. Продольный срез через середину органа; p — пигментный слой; s. c. — чувствительные клетки; sup. c. — опорные клетки.

ностью окружающего кожного покрова. Выступающие в окружающую среду концы чувствительных клеток несут еще чувствительные волоски, очень тонкие и хрупкие, не всегда сохраняющиеся на препаратах. Таким образом, у головастика орган имеет широкое сообщение с водной средой, окружающей животное, и чувствительные волоски могут легко улавливать самые незначительные прямые и отраженные токи воды и передавать полученные раздражения нервным волокнам, которые подходят к базальным концам чувствительных клеток, густо оплетая их. Отдельные нервные волокна, группируясь в описанные выше стволы, передают полученные раздражения в центральный отдел продолговатого мозга. По обилию периферических органов, высокой степени их развития и мощности всей системы боковых нервов, можно судить о значительной роли, которую играет система lateralis в жизни головастика тритона, в качестве подсобной системы равновесия.

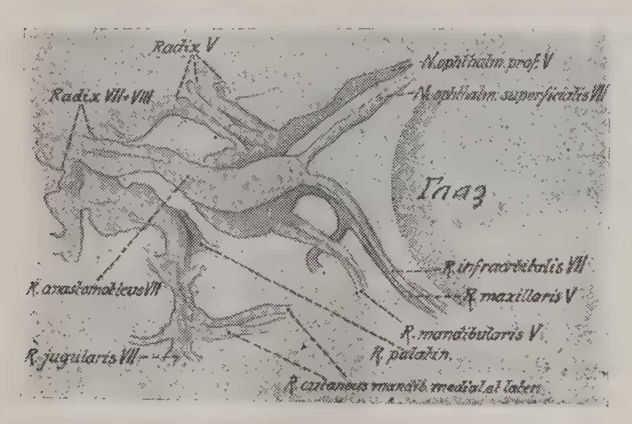
2. Водная стадия *Triton taeniatus*

У взрослого *Triton taeniatus*, взятого из естественных условий в середине водного периода (середина июля для окрестностей Ленинграда), система органов и нервов боковой линии является хорошо развитой и функционирующей. Факт этот весьма убедительно доказывают полученные мною модели (фиг. 4), с помощью графической реконструкции восстанавливающие прохождение и ветвление боковых нервов у *Tr. taeniatus*. Структура периферических органов, их поверхностное положение (фиг. 5) и полное сообщение с внешней средой — также с достаточной наглядностью говорят о функционирующем состоянии всей системы в этот период.

Отхождение от продолговатого мозга корней V и VII + VIII, взаимное положение их, положение нервных компонентов, берущих от них начало, чрезвычайно близко к описанному уже для головастика тритона. Имеющиеся отличия относятся, главным образом, к увеличению размеров как отдельных нервных элементов, так и всей системы в целом, что естественно для взрослого животного. Дорсальный корень комплекса facialis-acusticus (фиг. 4), отчетливо выступает, как отдельная часть корня. Разделение это не так резко, как у головастика, у которого иногда можно наблюдать как бы раздвигание дорсального и вентрального корней.

Ramus anastomoticus проходит вперед, в головном направлении, неся, главным образом, латеральные волокна и некоторое количество чувствительных. Достигая гассерова ганглия, эта ветвь протягивается по его дорсальной стороне. Здесь можно наблюдать легкое взбухание ствола, кото-

рое, не образуя отчетливого, макроскопически отличимого ганглия, все же микроскопически несколько отличается от гассерова ганглия. Форма его менее округла, чем у головастика. Его можно рассматривать как ganglion facialis anterior. Волокна, идущие к боковым органам дорсальной поверхности головы, проходят в R. anastomoticus через gang. facialis anterior и вступают в r. ophthalmicus superlicialis VII, идущую близко и в начальной части параллельно r. ophthalmicus profundus V (фиг. 4). Далее они проходят по верхнему краю глазного яблока, следуя в своем пути за направле-



Фиг. 4. Нервы боковой линии тритона водной стадии (реконструкция). Отхождение от продолговатого мозга тройничного (V) нерва и комплекса VII—VIII.

нием боковой линии надглазничной. R. infraorbitalis VII выступает из gan. facialis anterior в качестве ствола, тесно связанного с r. maxillaris V.

Проходя по нижнему краю глаза, указанныя r. infraorbitalis VII в некоторых участках переплетается запутанным и сложным образом с r. maxillaris V (фиг. 4); разделение обеих ветвей не всегда представляется возможным. Направление и распространение терминальных ветвей вполне аналогично таковому у головастика.

После отхода r. anastomoticus, волокна, принадлежащие к остальной части дорсального корня, проходят вниз и вбок, вначале близко примыкая к вентральному отрезку корня, несущему волокна VIII нерва для слухового эпителия и лабиринта. Здесь же наблюдается образование более или менее значительного ганглия (gang. facialis media) и отхождение r. palatinus (фиг. 4), проходящей в непосредственной близости к гассерову ганглию, а также направление латеральных волокон, снабжающих боковые органы вентральной поверхности головы. Эти волокна проходят через ганглий и направля-

ются вниз и вперед в составе r. cutaneus mandibuli medialis VII и r. cut-mand. lateralis VII.

Все указанные элементы кажутся вполне аналогичными таковым у головастика, изменяя соответсвенно большей величине животного, общие размеры и объем нервов.

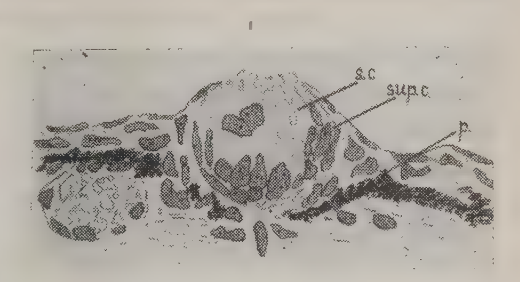
Представляет большой интерес сравнение взрослых стадий тритона и саламандры. Совершенно иные картины описывает Гёперт для молодой взрослой саламандры, претерпевшей метаморфоз. На модели, представляющей trigeminus и его связь с facialis у молодой саламандры, r. anastomoticus чрезвычайно уменьшена и в качестве тонкой ветви проходит к ганглию V, чтобы здесь образовать маленький, состоящий из незначительного числа клеток ганглий. В своем продолжении R. anastomoticus VII у саламандры дает слабую ветвь r. superficialis VII и пучок волокон к r. maxillaris V, являющихся незначительным остатком r. infraorbitalis VII. Такое же резкое уменьшение в объеме и мощности наблюдается и для компонентов, несущих волокна к вентральной поверхности головы. Уже на одиннадцатый день после метаморфоза Гёпперт отмечает заметное уменьшение объема нервных стволов и ганглиев системы боковых нервов. Таким образом, метаморфоз и связанный с ним переход к наземной жизни для саламандры является моментом, выключающим комплекс органов и нервов боковой линии, как самостоятельную несущую определенные функции систему.

Согласно вышеописанному (фиг. 4), совершенно иные картины имеются у тритона, прошедшего через метаморфоз, стадию наземной жизни и снова вошедшего в воду для икрометания. Разница в морфологических структурах латеральных систем у этих животных выступает чрезвычайно резко. У взрослой саламандры нервы боковой линии редуцируются, у взрослого тритона они сохраняют те же соотношения, что и у головастика. Проводя сравнение с поведением нервов и ганглиев у выросшей амблистомы по данным Когхилла — имеем: боковые нервы, снабжающие органы у взрослой амблистомы, не редуцируются, но сохраняют значительную мощность и самостоятельность.

Изучение периферических чувствительных органов *Tr. taeniatus* водной стадии дополняет впечатление хорошей функциональной деятельности всей системы боковых органов и нервов.

Органы боковой линии группируются в голове и теле взрослого тритона в тех же типичных линиях, описанных уже для головастика. Отдельный орган (фиг. 5) представляет собой округлое, луковицеподобное образование, лежащее поверхностно и резко обособленное специфичностью

своей структуры среди окружающих клеток многослойного плоского эпителия. Весь орган кажется, соответственно размерам тела, бо́льшим, чем у головастика. Чувствительные клетки занимают центральную часть органа. Окружающие со всех сторон опорные клетки, изгибаясь, вытягиваются вокруг чувствительных, отделяя их от окружающей ткани. Число опорных клеток у взрослых тритонов больше, чем у головастика. Концы чувствительных клеток заострены в тонкие шипики и выдаются наружу, неся тонкие чувствительные волоски. Опорные клетки, охватывая орган с боков, широко расходятся в стороны на поверхности органа, осуществляя таким образом открытое сообщение с водной средой для чувствительных клеток. Ядра последних никогда не достигают той значительной (относительно размеров клетки) величины, какая наблюдалась у головастика. Пигментные клетки, группируясь в тонкий слой, протянутый под эпидермисом, обычно прерываются вблизи органа, или протягиваются под ним. Колебания небольшой частоты, создаваемые отраженными токами воды от встречных предметов (Parker), улавливаются чувствительными волосками, благодаря их открытому сообщению с водной средой, и передаются через нервные волокна в центральные ядра. Вся система хорошо развитых нервных стволов и поверхностных, сообщающихся с внешней средой чувствительных органов, говорит о большой функциональной значимости данной системы при движении животного в водной среде.



Фиг. 5. Орган боковой линии тритона водной стадии. Продольный срез через середину органа; p — пигментный слой; s. c. — чувствительные клетки: sup. c. — опорные клетки.

3. Наземные стадии *Triton taeniatus*

Tr. taeniatus, как известно, зиму проводит на суше. Собранные ранней весной, в конце апреля — начале мая тритоны мало подвижны, полусонны, с сухой не слизистой кожей. В стадии наземного существования, в условиях воздушной среды, органы боковой линии не функционируют вовсе, ибо являются специфическими водными органами. Исследование нервов и ганглиев системы боковых органов показывает, однако, что редукции нервных элементов в указанный период не происходит. Наблюдается лишь заметное уменьшение объема нервных стволов, несущих волокна к боковым орга-

нам, и бо́льшее, по сравнению с одновозрастной водной стадией, уплощение ядер. Так, у молодого одногодного тритона (фиг. 6) корни седьмого и восьмого нервов отходят общим стволом, и дорсальную часть корня занимают волокна, обособляющиеся далее в Ramus anastomoticus. Последняя проходит вперед, орально, тесно примыкая к ганглию V, который представлен таким же, как и на предыдущих стадиях, значительным шаровидным образованием. Ганглий facialis, однако, микроскопически ясно отличимый на водных стадиях, здесь почти не отличим.

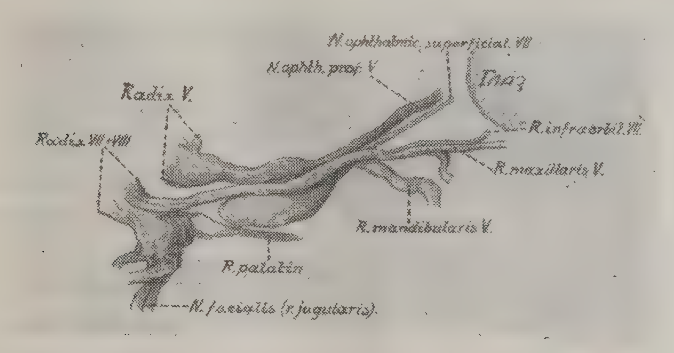
R. anastomoticus разделяется затем на два ствола: r. superficialis anterior VII, которая выглядит маломощной и более тонкой, чем у головастика, и r. inferior VII, настолько тесно слитую с r. maxillaris V, что различение их в качестве двух стволов не представляется возможным. Первая из упомянутых ветвей идет чрезвычайно близко к N. profundus V, который не теряет ничего в своем объеме по сравнению с головастиком. Волокна, иннервирующие органы надглазничной и подглазничной боковых линий прослеживаются в этих стволах на всем их пути. N. facialis, отходя от продолговатого мозга, образует небольшой gang. facialis medialis, из которого идет прямо вперед r. palatinus, проходящая очень близко от gang. trigemini и снабжающая волокнами слизистую оболочку крыши ротовой полости. Остальная часть чувствительных волокон проходит через gang. facialis lateralis, который также является небольшим образованием, и в составе трех ветвей направляется на периферию. На фиг. 6 первые две ветки (R. cutaneus lateralis и r. cut. mand. medialis) не показаны. R. jugularis проходит вблизи края мускула quadrato-pectoralis, в ее составе имеются волокна как общие чувствительные, так и волокна, иннервирующие боковые органы. Все три ветви близко напоминают таковые же у головастика и у тритона водной стадии, отличаясь от них лишь меньшей мощностью.

У взрослой саламандры (проводя сравнение согласно Гёпперту) наблюдается почти полная редукция стволов, несущих волокна к органам боковой линии. Так: дорсальный корень facialis-acusticus микроскопически не отличим (что наблюдается и у тритона наземной стадии). От начала дорсального ствола, вместо широкой ветви у личинки, отходит совсем тонкий, состоящий из нескольких волокон пучок, представляющий r. anastomoticus.

Ganglion facialis anterior отличим лишь микроскопически. Отсутствие волокон, проходящих в r. infraorbitalis VII уменьшило объем r. maxillaris V. Nervus ophthalmicus superficialis представлен совсем слабым стволиком, исходящим как бы от ганглия V. Далее, Гёпперт констатирует отсутствие

ganglion facialis lateralis и исходящих из него ветвей, несущих волокна на вентральную поверхность головы: R. r. cutaneus mandibulae lateralis VII и medialis VII. Указанные ветви и ганглии у *Tr. taeniatus* наземной стадии имеются.

У *Molge cristatus*, который и после метаморфоза ежегодно возвращается в воду для икрометания, система lateralis продолжает существовать и на взрослых стадиях. Дорсальный корень facialis выступает особенно ясно. Основные стволы, несущие волокна к вентральной и дорсальной поверхности головы также развиты хорошо. Некоторые изменения иннерва-

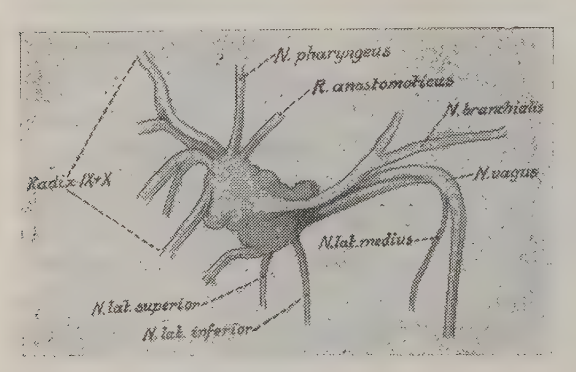


Фиг. 6. Нервы боковой линии молодого (годовалого) тритона наземной стадии. (Реконструкция). Отхождение тройничного (V) нерва и комплекса VII—VIII.

ции, наблюдающиеся в каудальной части головного отдела связаны с перестройкой мускулатуры (Göppert). Дрюннер в его классической монографии, посвященной *Urodela* также не обнаруживает «дегенерации ганглия переднего деления lateralis VII, в то время как заднее деление lateralis VII после метаморфоза уменьшается». Таким образом, отхождение боковых нервов и вентральной поверхности головы у *Tr. taeniatus* вполне совпадает с описанием Дрюннера, и Гёпперта (для *Molge cristatus*).

Боковые органы тела *Tr. taeniatus* наземной стадии иннервируются согласно моим наблюдениям теми же компонентами, что и у описанных выше стадий. У годовалого перезимовавшего тритона взятого для исследования в начале мая, ганглий IX + X (фиг. 7) образован четырьмя корнями, отходящими на различной высоте от продолговатого мозга. Более обособленным представляется наиболее дорсальный из них, несущий волокна к органам боковой линии и тесно связанный с ганглием X. Последний вместе с gang. IX представляет собой общее двойное тело, несколько вытянутое в длину. Gang. glossopharyngeus (IX) расположен более медиально и прини-

мает в себя все четыре корня, выступающие из Medulla oblongata. Непосредственно от ганглии IX берет начало Ramus anastomoticus IX, проходящая орально и несколько в сторону и в дальнейшем вступающая в связь с r. jugularis VII. Мощною ветвью, несущей многочисленные волокна ко всем органам тела, отходит от ганглия X r. intestinalis, с которой в первом участке своего пути связан n. lateralis medius. Указанный нерв идет вдоль средней боковой линии тела на протяжении всей ее длины. Вскоре после отхождения от ганглия X n. lateralis medius обособляется от r. intestinalis и отклоняется в сторону, следуя за направлением linea lateralis media (фиг. 7).



Фиг. 7. Нервы боковой линии молодого (годовалого) тритона наземной статии (реконструкция). Отхождение от продолговатого мозга комплекса IX—X.

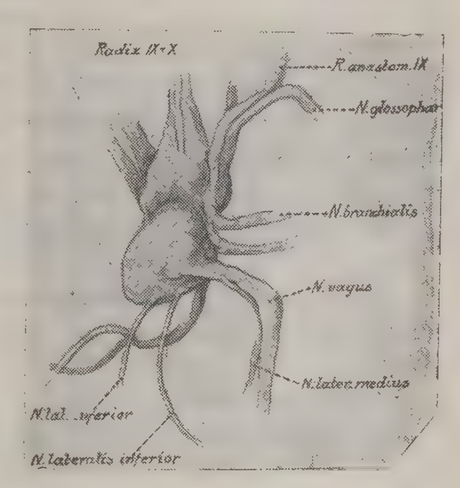
Нижний боковой нерв отходит от ганглия между n. lateralis medius и n. lateralis superior; очень скоро, однако, направляется в сторону n. intestinalis и занимает более нижнее положение, чем r. lateralis vagi и направляется вдоль тела, следуя за одноименной боковой линией.

N. lateralis superior иннервирует органы верхней боковой линии. Все три ствола легко прослеживаются на протяжении всего их пути, однако, выглядят значительно более тонкими, чем у стадий водных. Все же, говорить о наступающей в наземный период дегенерации элементов системы боковой линии не представляется возможным. Те же картины наблюдаются и у тритона старше 2 лет, фиксированного до вхождения в воду весной (фиг. 8). Оба ганглия IX + X представлены мощным округлым образованием, вытянутым в длину и принимают в себя четыре корня комплекса glossopharyngeus-vagus. Боковые нервы в составе 3 ветвей отходят от ганглия X совершенно таким же образом, как и у выше описанного одногодного тритона (фиг. 7).

Вся система боковых нервов кажется уменьшенной в объеме по сравнению с водными стадиями, но может быть ясно прослежена на протяжении всего пути нервных волокон к чувствительным органам.

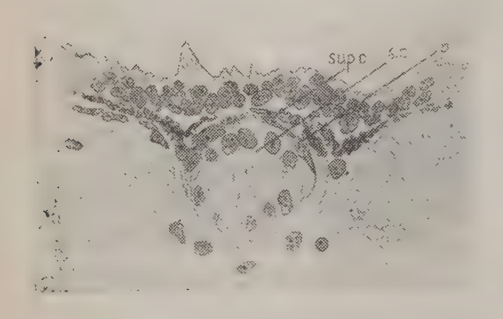
Сравним полученные данные у *Tr. taeniatus* с таковыми по Гёпперту для саламандры. Здесь также комплекс glossopharyngeus-vagus отходит

несколькими корнями, из которых дорсальный — наиболее сильный, у взрослой саламандры очень заметно уменьшен. Сильное уменьшение испытывает также вся часть ганглия X, питающая у личинки три боковых нерва. R. intestinalis (n. vagus), в единственном числе, не сопровождаемая боковым нервом (n. lateralis medius) направляется в соответствующую область. Три боковых нерва отсутствуют вовсе. Последнее доказывает специфичность этих нервов, как принадлежащих исключительно к системе боковых органов. Таким образом, у взрослой саламандры происходит полная редукция элементов указанной системы.



Фиг. 8. Нервы боковой линии взрослого тритона наземной стадии (реконструкция). Отхождение от продолговатого мозга комплекса IX—X.

У *Molge cristatus* n. lateralis medius является наиболее сильным, отходящим медиально от r. intestinalis стволом. В дальнейшем направлении он покрывается лопаткой и мускулом latissimus dorsi, проходя между дорсальной и вентральной мускулатурой. N. lateralis superior и n. lat. inferior так же имеются в виде самостоятельных стволов.



Фиг. 9. Орган боковой линии тритона наземной стадии. Продольный срез через середину органа; p — пигментный слой; s. c. — чувствительные клетки; s p.-c. — опорные клетки.

У взрослого *Molge* дегенерации нервов, входящих в систему боковых органов не происходит, несмотря на длительный период наземной жизни (Göppert, Drünner).

Периферические органы боковой линии сильно отличаются от описанных для головастика и водного тритона. Все органы являются глубоко погруженными под слой эпидермальных клеток (фиг. 9). Чувствительные клетки, занимающие центр органа, со всех сторон окружены клетками опорными, смыкающимися над первыми в один или больше слоев. Клетки эпидер-

мальной ткани группируются вокруг органа и протягиваются над ним, обусловливая более или менее глубокое погружение органа. Пигментные клетки часто следуют за эпидермальными и также располагаются над органом, или образуют тонкий темноокрашенный слой под ним.

Весь орган в целом совершенно изолирован от сообщения с внешней средой и не функционирует вовсе. Сопоставляя гистологическую структуру наземного органа и систему боковых нервов, снабжающих волокнами органы боковой линии, в условиях воздушной среды, — становится ясным, что депрессия, обнаруженная в системе (фиг. 6, 7, 8), должна быть отнесена за счет полного отсутствия функциональной деятельности периферических органов.

Таким образом, в период наземной жизни все элементы системы — периферические органы, нервные стволы и центральные ядра — имеются на лицо.

Отсутствие функции, неизбежное для специфического водного органа в условиях воздушной среды — ведет за собой общую депрессию всей системы. В периферической части это выражается замыканием органа и его погружением, в части центральной — уменьшением объема нервных ветвей и некоторым изменением ядер. Вся система как бы выключается из общей работы центральной нервной системы до нового периода водной жизни. И говоря о периодических погружениях и поднятиях органа, можно попытаться установить механизм погружения или поднятия органа на поверхность, отнюдь не рассматривая его в качестве процесса регенеративного.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1933
BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS
Classe des sciences mathématiques et naturelles
Отделение математических и естественных наук

„УРОВСКАЯ" ИЛИ КАШИН-БЕКОВСКАЯ БОЛЕЗНЬ В СВЕТЕ РЕНТГЕНО-ПАЛЕОАНТРОПОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Д. Г. РОХЛИНА и А. Е. РУБАШЕВОЙ

(*Представлено* Институтом антропологии и этнографии)

Вдохнуть жизнь в ископаемые остатки и восстановить на основании найденного костного материала историю первобытного человека и тем более его бытовые условия — конечно выходит за пределы возможностей рентгено-антрополога. Однако помочь археологу и антропологу и быть участником в этой общей работе рентгено-антрополог может. Его доля в этой коллективной работе не мала, ибо рентгено-антрополог указывает возрастные и конституциональные особенности и своеобразие патологических процессов, не нарушая сохранности этих высоко ценимых остатков прошлого.

В частности, рентгено-палеоантропологические исследования позволяют изучить в разрезе столетий и тысячелетий своеобразие течения патологических процессов. Эти исследования позволяют нам в известной мере приподнять завесу времени, представив некоторые условия жизни, труда и быта, поскольку они частично иллюстрируются или получают то или иное отражение в тяжелых болезнях, поражающих большое количество людей, в болезнях, имеющих социальное значение. В частности заболевания, ведущие к ранней инвалидности, имели особое значение для первобытного человека, ибо борьба за существование в то время была исключительно тяжела, а естественный отбор чрезвычайно жесток.

Эти ископаемые костные остатки могут осветить вопрос о давности некоторых тяжелых заболеваний современного человека, этиология и патогенез которых еще неизвестны. Такие исследования дают не только исторические даты о длительности существования данной болезни и изменчивости или наоборот известной стабильности патологических изменений. Целый ряд факторов, которым теперь приписывается известное патологическое значение,

могут оказаться лишь сосуществующими и не влияющими на возникновение и течение заболевания. К такому выводу нужно притти, если, сравнивая заболевания на протяжении столетий и тысячелетий, мы убеждаемся, что ряд факторов, которым теперь приписывается патогенетическое значение, не имел места в иные исторические эпохи. Это мы попытаемся показать на «уровской» или кашин-бековской болезни, привлекающей в настоящее время исключительное внимание врачебного мира и органов здравоохранения.

В Восточном Забайкальи между реками Аргунью и Шилкой среди населения (казаков), живущего в соответствующей местности и главным образом по р. Урову, весьма распространено тяжелое системное заболевание костно-суставного аппарата. Заболевание, развивающееся в детском и юношеском возрасте и превращающее еще молодых людей в полных инвалидов, получило название «уровской» болезни — соответственно тому месту, где оно больше всего распространено было в середине XIX столетия. Эту болезнь называют также кашин-бековской по фамилиям двух врачей, очутившихся на далекой окраине в качестве военных врачей и привлекших своими исследованиями, инициативой и настойчивостью внимание медицинского мира к своеобразному заболеванию местного населения.

Докладные записки и статьи Н. И. Кашина в 50 и 60-х годах прошлого столетия о «господствующих по реке Урову эпидемических болезнях» приводили, как указывает Е. В. Бек, в трепет администрацию, ибо эта болезнь «род английской болезни, наблюдающаяся у взрослых и обнаруживающаяся опухолью в руках, ногах, спине и под горлом, остается навсегда и делает людей уродами». Кашин считал не случайным совпадение зоба и кретинизма с заболеваниями костно-суставного аппарата. Он считал, что заболевания суставов являются последствиями заболевания щитовидной железы.

Заболевание это было более подробно изучено Е. В. Беком, врачом Забайкальского казачьего войска. В продолжение ряда лет Е. В. Бек, совместно со своей женой д-ром А. Н. Бек, произвел поголовный осмотр 3153 человек, жителей 11 селений. Кроме того, 6 больных были направлены в Петербург в Военно-медицинскую академию в ортопедическую клинику (проф. Г. И. Турнера), где они были подробно исследованы рядом специалистов (в частности — ортопедами, хирургами, невропатологами и рентгенологами).

С тех пор интерес к этому заболеванию не ослабевает. Большое количество опубликованных и вновь появляющихся работ, большое коли-

чество экспедиций и наконец факт организации Наркомздравом специального Института по изучению уровской болезни — свидетельствуют о необходимости не только изучить, но и преодолеть это заболевание, представляющее социальное бедствие Забайкалья.

И все же нельзя сказать, что усилия большого количества врачей и учреждений внесли существенно новое в наше понимание этиологии и патогенеза уровской болезни. Оперируя тем же клиническим и амбулаторным материалом, что и Бек, но опираясь нередко на меньшее число наблюдений, без анатомических и гистологических исследований, позднейшие авторы не внесли существенных дополнений к тому, что дано было Беком в его диссертации 1906 г.

Увеличение общего количества наблюдений позволяет однако лучше статистически обработать материал по болезни Бека — время возникновения клинически обнаруживаемых симптомов, распределение по возрасту и полу, смертность, инвалидность и т. д.

В последние годы были подвергнуты исследованию несколько скелетов «уровцев». Это конечно шаг вперед, однако, число таких наблюдений еще слишком незначительно и дает большой простор фантазии.

Случай позволил нам, так сказать, «с иного конца» подойти к кашин-бековской болезни. Изучая остеологические и краниологические коллекции Музея антропологии и этнографии Академии Наук СССР, мы ознакомились с костными коллекциями, собранными археологом Г. П. Сосновским. Почти в каждом ящике мы могли обнаружить исключительные по выраженности изменений, действительно музейные экспонаты кашин-бековской болезни (Фиг. 1, 2, 3 и сл.).

Экспедиция под начальством археолога Г. П. Сосновского производила в 1928—1929 гг. раскопки в бассейне р. Селенги, на территории Верхнеудинского, Селенгинского и Троицкосавского районов, т. е. на расстоянии приблизительно 600 км от того района, где теперь распространена кашин-бековская болезнь.

Г. П. Сосновским было раскопано 150 могил и в них обнаружены были костные остатки 87 индивидуумов и 40 сохранившихся черепов. В могилах найдены были памятники материальной культуры, относящейся к различным историческим периодам. Костные остатки (с хорошо выраженными проявлениями системных остеоартрозов с отчетливым преобладанием гипертрофических изменений над атрофическими и деструктивными изменениями) были найдены вместе с предметами, относящимися к позднему неолиту (остатки 1 скелета), а также вместе с памятниками бронзового

периода и начала железного периода (2 скелета). Такие системные изменения в скелете конечностей и в позвоночнике (остеоартрозы, спондилозы) были обнаружены на 3 скелетах начала нашей эры. Кроме того, среди погребений, относящихся к VIII—X веку нашей эры (с разнообразными предметами материальной культуры кочевников того периода) было обнаружено 8 скелетов с такими же системными поражениями.

Эти изменения в костной системе совершенно тождественны тем изменениям, которые мы обнаружили на некоторых современных бурятских скелетах, собранных в окрестностях Троицкосавска и на том костном материале, который был нам любезно доставлен д-ром Ф. П. Сергиевским из Уровского института.

Рентгенографическое исследование и изучение соответствующего костного материала было произведено в рентгено-антропологической лаборатории Гос. Рентгенологического, радиологического и ракового института.

Итак, резко выраженные изменения характерные для кашин-бековской болезни были обнаружены нами на 14 скелетах разных исторических эпох, т. е. в 16% всего материала, найденного при раскопках в указанной местности. Кроме того, незначительные изменения в виде нерезко выраженных артрозов в том или ином отделе (но не системные поражения всего скелета) наблюдались, в общем, на каждом третьем скелете. Эти изменения встречались в одинаковой степени во все исторические эпохи.

Эти материалы позволяют нам внести некоторые существенные коррективы в наши представления, о давности и распространении (патогеографии) кашин-бековской болезни.

Г. И. Турнер указывает, что старожилы-казаки помнят, что заболевания начались с тех пор, как вместо дерна стали прудить реки для мельниц навозом, причем сваливали его в реку по несколько сот возов (15; стр. 358). Л. О. Добровольский указывает, что в селе Сивачи на Урове жители сами отмечают, что народ у них измельчал, сделался малорослым и слабосильным, а раньше они были высокого роста, стройные и крепкие «как дубы» (8; стр. 188—189).

Может получиться впечатление, что кашин-бековская болезнь возникла недавно. Тогда как изучение раскопок Г. П. Сосновского с убедительностью свидетельствует, что эта болезнь существовала и у кочевников VIII — X в., и к началу нашей эры и к V — IV в. до нашей эры (бронзовый период Забайкалья), и наконец во 2-м тысячелетии до нашей эры (поздний неолит).

Эти наши наблюдения позволяют считать, что болезнь кашин-бека существовала в отдаленнейшие эпохи и, кроме того, наблюдалась, как было указано, на большом отдалении от современного очага эндемии. И это обстоятельство представляет большой интерес, ибо позволяет сдержанно относиться к тем гипотезам, в которых болезнь связывается с местными особенностями почвы, своеобразием недр Нерчинско-заводского района, загрязнением рек, колодцев, водоемов и т. д.

Так как исследованный нами материал в количественном отношении превосходит тот костный материал, которым располагали до настоящего времени, изучавшие кашин-бековскую болезнь, мы, опираясь на наши данные, представим картину костных изменений, характерных для этой болезни, а также критически разберем существующие взгляды на этиологию и патогенез этой болезни.

Исходя из изменений, обнаруженных на костном материале, нельзя восстановить все клиническое течение болезни, начало заболевания, порядок поражения суставов и т. д. Конечно, нетрудно предполагать, каковы были болезненные ощущения тех людей, чьи кости мы имели возможность теперь исследовать. Они аналогичны тем болезненным ощущениям, которые наблюдаются у современников, пораженных кашин-бековской болезнью. В одной из ближайших работ, которую мы предполагаем опубликовать совместно с Ф. П. Сергиевским (завед. стационарным отделением Уровского института), мы остановимся на клиническом течении болезни Кашин-Бека. В дальнейших работах совместно с Ф. П. Сергиевским мы, на основании систематических рентгенологических исследований попытаемся проследить динамику болезни, поскольку она проявляется в костно-суставном аппарате, а также выявить своеобразие эндокринной формулы соответствующих больных.

Каковы те макроскопические изменения, которые обнаружены были нами на костных остатках из раскопок Г. П. Сосновского. Как было уже указано, независимо от исторической эпохи, в которую жили соответствующие люди, все 14 скелетов обнаруживают в общем симметричные, системные, правильнее генерализированные, деформации преимущественно типа гипертрофических остеоартрозов и спондилоартрозов. Такие же изменения наблюдались нами на 11 современных скелетах больных уровской болезнью. Эти больные в последние годы жизни находились под наблюдением Н. И. Дамперова и Ф. П. Сергиевского в Уровском институте (эта остеологическая коллекция прислана нам д-ром Ф. П. Сергиевским). То же самое наблюдали Г. И. Турнер и Л. О. Добровольский на скелетах

современных «бековцев». Таким образом изменения, обнаруженные нами, несомненно представляют собой результат болезненного процесса, а не добавочные изменения в результате воздействия почвы, влаги и иных факторов в течение столетий или тысячелетий. Гипертрофические изменения — губовидные костные разрастания, краевые остеофиты — доминировали над атрофическими изменениями, подточенностью и деструктивными изменениями. Изменения, характеризующиеся минусом костной ткани, могли и вовсе не обнаруживаться. Однако в соответствующих случаях суставные поверхности были как бы отполированы (фиг. 3). Наличие деструктивных изменений свидетельствует о большей тяжести, а иногда (но не всегда) и о большей продолжительности болезненного процесса.

В костях запястья и предплюсны наблюдаются деформации с превалированием деструктивных изменений; суставные поверхности этих костей изъедены. В фалангах, пястных и плюсневых костях, и во всех длинных трубчатых костях, превалируют гипертрофические изменения, более или менее пышные остеофиты. На суставных поверхностях краевые остеофиты напоминают рельсы. Суставные поверхности костей, участвующих в образовании одного и того же сустава, обнаруживают более или менее одинаковую картину изменений, свидетельствующую об известном приспособлении пораженных суставных поверхностей к новым условиям. Уплощенной деформированной головке соответствует уплощение и расширение той суставной поверхности, с которой головка сочленяется; «рельсы» на одной суставной поверхности соответствуют бороздам на суставной поверхности той кости, с которой она сочленяется. Трубчатые кости нередко укорочены. В силу контраста эта особенность отчетливо выступает в коротких трубчатых костях, особенно в фалангах, длина которых приближается к ширине.

Что касается своеобразия изменений в отдельных костях скелета, то они таковы. О характере изменений в фалангах, пястных костях и костях запястья было выше указано. Дистальный эпифиз лучевой кости обычно не очень резко изменен, края дистальной суставной поверхности несколько вытянуты; край incisura ulnaris нередко заострен. Проксимальный эпифиз обычно больше изменен. Circumferentia articularis capituli radii широка и блестит (она отшлифована); нижний край этой поверхности заострен, нередко здесь наблюдается острый гребневидный остеофит. Тяжелые изменения характеризуются изъеденностью суставной поверхности головки.

Изменения в локтевой кости обычно прослеживаются как в проксимальном, так и в дистальном эпифизе. Capitulum ulnae и circumferentia

articularis ulnae блестит; круговая суставная поверхность заострена и нередко снабжена остеофитами (фиг. 4). В проксимальном отделе изменения наблюдаются чаще и выступают обычно резче. Края incisurae semilunaris и incisurae radialis вытянуты и заострены.

Плечевая кость часто укорочена, несколько искривлена в области tuberositas deltoidea, последняя резко выступает. Дистальный эпифиз и его суставная поверхность обнаруживают изменения, соответственные таковым в проксимальном отделе костей предплечья. Суставные поверхности блестят («отполированы»), в более тяжелых случаях суставные поверхности изъедены. По краям capitulum и trochlea humeri выступают валики («рельсы»). На исследованном нами материале локтевой и коленный сустав (поскольку дело касается больших суставов) дает наибольшее количество поражений (собственно во всех указанных остатках 14 скелетов); в то же время из больших суставов именно в этих суставах мы наблюдали наибольшие анатомические изменения. Помимо этих 14 скелетов с генерализованными остеоартрозами, как было указано, наблюдались единичные нерезко выраженные артрозы на отдельных костях иных скелетов. В этих случаях артрозы локализировались главным образом в локтевом и коленном суставах и в поясничном отделе позвоночника.

Головка плечевой кости обычно мало изменена, заострены лишь края у места перехода в анатомическую шейку. Однако изредка могут наблюдаться и очень значительные губообразные остеофиты (фиг. 1, 2).

В лопатке при наличии изменений в головке плечевой кости обнаруживаются соответственные изменения в cavitas glenoidalis. Суставная поверхность ее в таких случаях расширена и уплощена; края заострены.

В нижней конечности в дистальном отделе костей ступни наблюдаются изменения, аналогичные таковым в кисти.

Большие изменения наблюдаются в таранной и пяточной костях. В таранной кости, особенно на facies superior trochleae tali нередко наблюдаются деструктивные изменения. В пяточной кости обычно отчетливо выступают гипертрофические изменения — губообразные краевые остеофиты (фиг. 10).

Ладьевидная кость часто уплощена, ее суставные поверхности иногда изъедены, края заострены. Заострение краев обычно наблюдается и в кубовидной кости.

В суставных поверхностях дистального отдела обеих костей голени наблюдаются изменения, соответствующие таковым на facies superior trochleae tali. В этом, как и в иных пораженных суставах, изменения на

сочленяющихся поверхностях соответствуют друг другу «как ключ замку».

Изменения в суставных поверхностях коленного сустава, как было указано, наблюдаются особенно часто. Блестящие, полированные поверхности, местами изъеденные, губообразные остеофиты, «рельсы» — выступают здесь особенно рельефно. Даже на надколенной чашке чрезвычайно часто обнаруживается истончение краев и остеофиты.

Головка бедренной кости в общем редко отчетливо изменена. Несколько раз мы наблюдали небольшое уплощение; в одном случае — довольно значительное, с дегенеративными изменениями и следами перестройки, обнаруженными рентгенографически (фиг. 11).

Вертлужная впадина при наличии изменений в головке бедра приспосабливается к новым условиям; в соответствующих случаях вертлужная впадина несколько уплощена.

Наибольшие изменения наблюдались нами в позвоночнике и в частности — в верхних шейных, в нижних грудных и особенно в поясничных (фиг. 5 и 6) позвонках.

В атланте обычно обнаруживаются изъеденность суставных фасеток главным образом на facies articularis inferior и остеофиты в области fovea dentis. Соответственно этому такие же изменения обнаруживаются и на верхних суставных фасетках эпистрофея и на его зубовидном отростке. Остеофиты на зубовидном отростке, на facies articularis anterior et posterior могут быть очень значительны, изредка наблюдаются костные анкилозы между С. I и II. Изменения в articul. atlanto-occipitalis наблюдаются реже и не очень резко выражены.

В остальных шейных и верхних грудных позвонках изменения или вовсе не наблюдаются или же сводятся к наличию небольших губообразных остеофитов главным образом по передней поверхности тел позвонков.

Наибольшие изменения, как уже было указано, обнаруживаются в нижних грудных позвонках и особенно во всех поясничных. Тела этих позвонков уплощены в трансверзальном диаметре (фиг. 5, 6, 7, 8, 9), края тел вытянуты, причем нередко наблюдаются множественные мощные костные губообразные остеофиты (фиг. 5, 6, 7, 8; 9). Изредка наблюдаются анкилозы нескольких позвоночников на почве окостенения передней длинной связки. Фасетки мелких суставов (в proc. artic. sup. et inf. мало или вовсе не изменены.

В губчатом веществе тел позвонков (на верхней и нижней поверхности) частью видны единичные или множественные углубления (фиг. 12). На ренггенограммах очень хорошо прослеживается склеротическая кайма

вокруг этих «ниш» или ям (фиг. 13). Эти изменения несомненно являются результатом прорыва межпозвоночного хряща в губчатое вещество тела позвонка с последующей пролиферацией хряща. Это так называемые шморлевские хрящевые узелки (Шморль и Юнгганс).

Эти хрящевые узелки могут наблюдаться при первичном изменении тела позвонков, при локализации воспалительных изменений в спонгиозном веществе, уменьшении количества и истончении костных балок. В этих условиях даже небольшая травма может повести к прорыву хряща в мало резистентное губчатое вещество. Однако, при системных прорывах и образовании узелков нужно скорее думать о неполноценности или болезненных изменениях (как воспалительных, так и дегенеративных) гиалиновых пластинок межпозвоночного хряща. Как это установлено работами Шморля и его школы, эти гиалиновые пластинки играют роль коркового слоя, отсутствующего на верхней и нижней поверхности тел позвонков (корковый слой имеется только на боковых поверхностях и по краям передней и нижней поверхности).

Те изменения, которые нами были обнаружены в большом количестве на нижних грудных и особенно на поясничных позвонках на верхней и нижней поверхности их тел (единичные или множественные «ниши» или ямы) позволяют предполагать первичные изменения в межпозвоночных дисках, а вторичные в телах. Как указали Шморль и Юнгганс, эти так называемые хрящевые узелки всегда ведут к ранним спондилозам.

Краевые остеофиты в области верхней поверхности тела первого крестцового позвонка наблюдались нами очень часто при наличии значительных изменений в вышележащих позвонках. Processus articulares крестца мало изменены или чаще вовсе не изменены.

Костно-вертебральные артрозы наблюдаются очень часто, грудино-ключичные артрозы — нередко.

На черепе (за исключением вышеуказанных изменений в суставных фасетках condyl. occipitalis) — ничего патологического. Все те особенности черепов, которые некоторыми авторами рассматривались как проявления патологических изменений, представляют собою лишь вариации нормального. Слабые познания в области границ нормального в скелете и в особенности в черепе, к сожалению, приводят к необоснованным построениям.

Череп, и в частности турецкое седло больных кашин-бековскою болезнью, не обнаруживает ни редких конституциональных особенностей, ни своеобразия эндокринной формулы. Эндокринно-конституциональные типы этих больных, поскольку они распознаются на основании особенностей

черепа и в частности турецкого седла, разнообразны. Черепа этих больных неоднотипные. На основании одного двух черепов, как это к сожалению имеет место, нельзя делать выводов о конституциональном типе многих тысяч больных. В дальнейшем, когда мы в диференциальном диагнозе коснемся хондродистрофии, некоторые особенности которой, якобы, наблюдаются у больных бековской болезнью, мы еще вернемся к этим ошибкам.

Таким образом анатомическое и рентгенологическое изучение костного материала позволило выявить степень распространенности патологических процессов — типичных остеоартрозов и спондилозов — интенсивность этих изменений в разных отделах скелета конечностей и позвоночника. Особенности обнаруженных изменений, поражение суставных поверхностей или прилегающих к ним отделов, превалирование репаративных, гипертрофических изменений над деструктивными и дегенеративными, более или менее одинаковое поражение обеих суставных поверхностей в каждом из пораженных суставов возможно как при первичном поражении хрящей, так и при первичном поражении костей. Вопрос этот нельзя решить на основании далеко зашедших, запущенных случаев. Только систематическое изучение динамики изменений костно-суставного аппарата в рентгеновском изображении (при обязательном исследовании тех возрастных групп, которые клинически еще не обнаруживают изменений) позволит нам в будущем окончательно решить вопрос, имеем ли мы дело с системными вторичными деформирующими остеоартрозами (на почве первичного поражения хряща) или же — с системными первичными деформирующими остеоартрозами (на почве первичного поражения эпифизов костей).

Этиология кашин-бековской болезни все еще загадочна.

Кашин в свое время связывал поражение костно-суставного аппарата с зобом и кретинизмом, действительно распространенными в этой местности. Бек же указывал, что только в известном количестве случаев заболевание костно-суставного аппарата наблюдается у людей, имеющих зоб, что имеются поселки, где не наблюдалось ни одного случая зоба при наличии поражения суставов у 33% населения. С другой стороны, при наличии зоба Бек очень часто клинически вовсе не наблюдал никаких изменений в костно-суставном аппарате. Для некоторых исследователей (Г. И. Турнер, Н. Я. Вельяминов) «нераздельность указанных поражений скелета с функциональной дефективностью эндокринного аппарата и в частности щитовидной железы» кажется несомненной.

Все же до настоящего времени нет объективных доказательств, свидетельствующих о тиреогенном поражении костно-суставного аппарата. О наличии этой зависимости можно будет говорить только в том случае, если планируемые нами совместно с Ф. П. Сергиевским массовые рентгенологические обследования приведут к выявлению на том или ином этапе развития больных детей картины так называемой кретиноидной остеохондропатии (osteochondropathia cretinoidea), наличия торможения темпа окостенения, асимметрии и извращения порядка окостенения, наличия добавочных источников окостенения, т. е. тех картин, на основании которых мы рентгенологически ставим диагноз гипотиреоза и кретинизма [Д. Г. Рохлин, Бирхер (Bircher), Ресле (Rössle), Вегелин (Wegelin), Зеемен (Seemen)].

Однако довольно большой костный материал из коллекций, собранных Г. П. Сосновским, а также скелет 22-летнего «бековца» и отдельные кости еще десяти взрослых «бековцев», присланные нам из Уровского института, позволяют усомниться в наличии резких изменений со стороны щитовидной железы. Спорадический и эндемический кретинизм обязательно связаны с неполноценным развитием костной системы, причем соответствующие изменения обнаруживаются в той или иной степени в любом возрасте и в частности у взрослых (Лоозер, Ресле, Вегелин, Д. Г. Рохлин). Мы же наблюдали неполноценное развитие скелета (сохранение поперечного тяжа) у взрослых лишь в 25%. При гипотиреозе и эндемическом кретинизме мы наблюдали бы неполное диференцирование скелета в 100%, причем торможение диференцирования было бы выражено куда резче.

Все же найденные нами у 25% всех исследованных скелетов следы неполного диференцирования, свидетельствуют о частоте субгенитализма. Субгенитализм этот может быть первичным, но также и последовательным — в результате ненормального функционирования инкреторных желез (напр. щитовидной, гипофиза). Мы надеемся, что наши дальнейшие систематические рентгенологические исследования позволят раскрыть своеобразие эндокринной формулы, поскольку оно выявляется в особенностях костной системы. Анализ данных Е. В. Бека и Н. И. Дамперова, возникновение заболевания костно-суставного аппарата главным образом в те возрастные периоды, которые характеризуются повышенной деятельностью передней доли гипофиза и коры надпочечников и активацией половых желез (период созревания), заставляют с особым интересом ждать этих рентгенологических исследований, позволяющих с такой легкостью отличить предпубертатный период от пубертатного.

Исследованный нами костный материал позволяет нам уже в настоящее время занять определенное положение по отношению к целому ряду «гипотез» о взаимоотношениях между кашин-бековской болезнью и некоторыми конституциональными аномалиями.

С хондродистрофией (типичной и нетипичной) кашин-бековская болезнь не имеет ничего общего. Хондродистрофические изменения обнаруживаются еще в ранних периодах эмбриональной жизни; с соответствующими признаками человек рождается, эти признаки остаются и в дальнейшем, однако, чем старше человек, тем менее резко они выражены (ср. Д. Г. Рохлин). Совсем иное наблюдается у «бековцев». Новорожденные не обнаруживают макроскопически видимых уклонений от нормы, изменения появляются у детей и подростков, характерные симптомы постепенно нарастают.

Платиспондилия (уплощенные позвонки) и изредка одновременно наблюдающиеся аномалии окостенения и формы скелета конечностей [Валентин (Valentin), Путти (Putti), Перуссия (Perussia), Рохлин и Велицкий] наблюдаются в качестве конституциональных (нередко—семейных) особенностей уже у новорожденных. Рентгенографически обнаруживаются очень значительные изменения в раннем младенческом возрасте, т. е. тогда, когда у бековцев анатомических изменений не видно.

Наши исследования позволяют сдержанно относиться и к общепринятому взгляду, что кашин-бековская болезнь обусловлена только особенностями воды, загрязнением ее органическими веществами и значительным содержанием разных солей, которыми богат Нерчинскозаводсий район (железо, серебро, свинец, медь, киноварь, цинк, мышьяк, сурьма, золото и т. д.). Загрязненность воды органическими веществами наблюдается и во многих деревнях Европейской части РСФСР и все же не ведет к эндемическим заболеваниям. Наши палео-антропологические находки также говорят против такого подхода. Вряд ли кочевники, жившие сотни и тысячи лет тому назад, могли страдать от последствий скученности населения, загрязненности воды в такой мере, как это наблюдается в последние 50—100 лет.

Что касается примеси минеральных веществ, то уже их изобилие не позволяет разобраться в том, какому фактору нужно приписать патогенетическое значение.

Нахождение тождественных изменений в костно-суставном аппарате на расстоянии 600 км от современного очага эндемии, в местности характеризующейся иными особенностями почвы и иными минеральными богат-

ствами, не позволяет нам придавать особенностям воды то доминирующее значение, какое ей приписывается в кашин-бековской болезни всеми исследователями.

В этом отношении интересно, что, изучая костные остатки кочевников железного периода из раскопок Г. П. Сосновского[1] в ином районе, а именно — в Хакасском округе (дер. Черново), т. е. приблизительно в 2000 км от современного забайкальского очага эндемии, мы обнаружили у 3 из 11 скелетов изменения, характерные для кашин-бековской болезни (системные остеоартрозы и спондилозы у нестарых субъектов).

Из 7 скелетов Андроновской коллекции[1] (эпоха ранней бронзы) из того же Хакасского округа (Чебоковского района) соответствующие изменения были обнаружены на одном скелете мужчины.

Эти данные заставляют нас считать, что кашин-бековская болезнь может наблюдаться и наблюдалась при иных особенностях питьевой воды и при иных бытовых условиях, поскольку кочевники того отдаленного времени отличались в этом отношении от современных оседлых земледельцев.

Представляя новые данные о пато-географии кашин-бековской болезни, указывая на древность этого заболевания, на наличие несомненных следов кашин-бековской болезни в скелетах, относящихся к эпохе позднего неолита, эпохе поздней бронзы и железа, к началу нашей эры и VIII—X столетиям, мы считаем, что эти новые обстоятельства должны быть учтены при анализе патогенеза кашин-бековской болезни.

Исследованный нами соответствующий костный материал, как современного, так и ископаемого человека (с характерными генерализованными остеоартрозами и спондилозами), свидетельствует о том, что разделяемое большинством исследователей воззрение о безусловной зависимости кашин-бековской болезни от зоба и кретинизма не обосновано.

Роль конституционального компонента и своеобразие эндокринной формулы мы рассчитываем в той или иной мере выявить на основании наших дальнейших систематических рентгено-антропологических исследований как нормально развивающегося населения, так и больных из соответствующего района Забайкалья. На основании этих же исследований мы сумеем судить об эффективности разных врачебных и социально-гигиенических мероприятий, принимаемых в настоящее время.

Гос. Рентгенологический, радиологический и раковый институт.
Рентгеноантропологическая лаборатория.

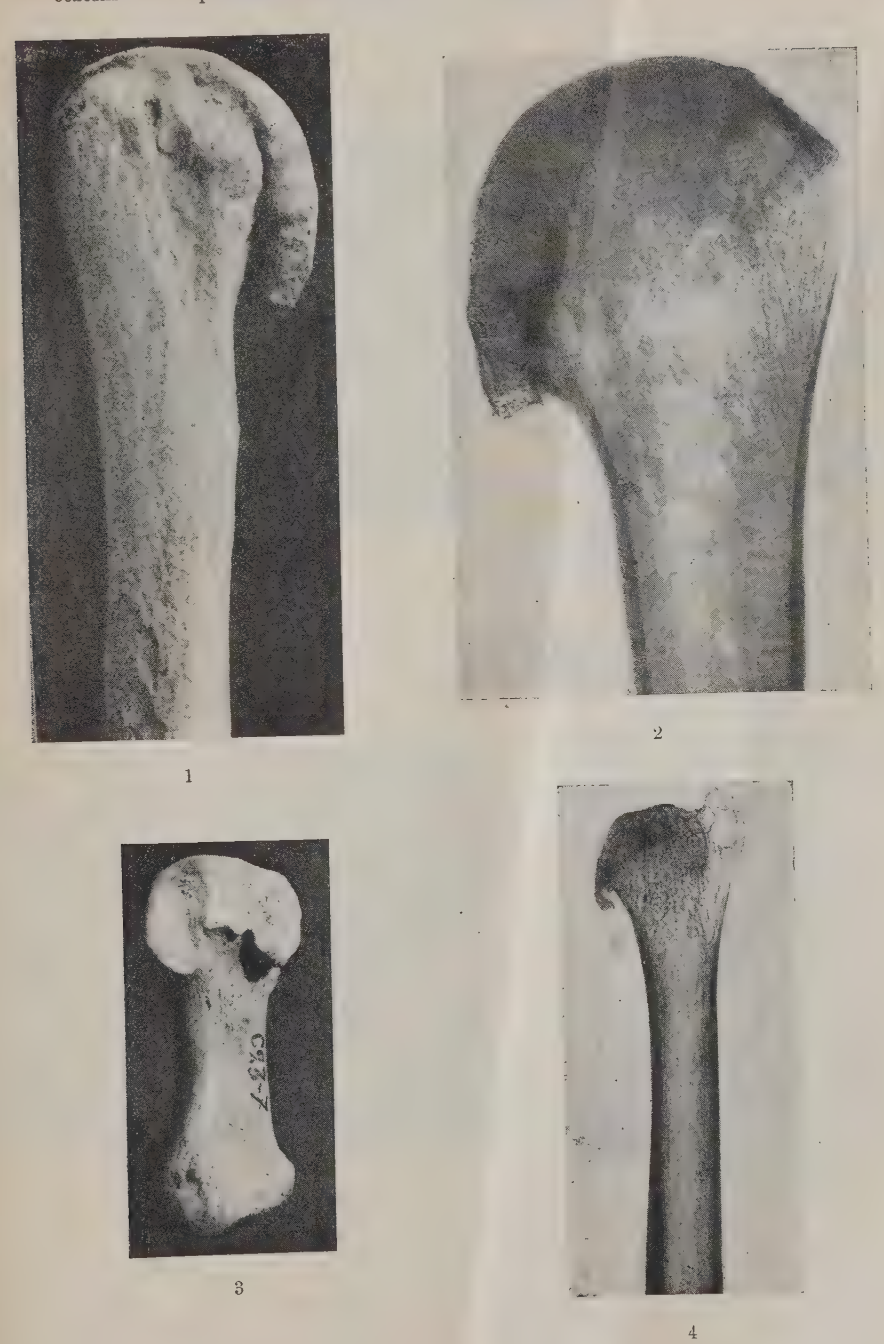
[1] Костный материал находится в Муз. антр. и этногр. Акад. Наук.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бек, Е. В. — К вопросу об osteoarthritis deformans endemica в Забайкальской области. — Серия докторских диссертаций Военно-медиц. акад. № 16. СПб., 1906.
2. Бек, А. и Захаров, А. — Бека болезнь. Статья в Больш. медиц. энцикл., 1928, т. 3.
3. Bircher, E. — Entwicklung und Bau des Kretinenskeletts, 1909, Hamburg, Gräfe u. Sillem.
4. Valentin, B. — Knochensystemerkrankung. Zbl. f. Chir., 33, 1930.
5. Wegelin, C. — Schilddrüse. — Handbuch d. spez. path. Anat. u. Histol., hgb. Henke-Lubarsch. Drüsen mit innerer Sekretion, Berlin, 1926, 7, Springer.
6. Вельяминов, Н. А. — Учение о болезнях суставов, Л. Госиздат, 1924.
7. Goldstein, D. u. Nikiforov, P. — Über die sogenannte Kaschin-Becksche Krankheit. — Fortschr. auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen, 1931, Bd. 43, H. 3.
8. Добровольский, Л. О. — Уровская болезнь или болезнь Бека. — Вестн. эндокрин., 1925, т. 1, № 3.
9. Seemen, H. — Osteohondropathia cretinoidea. — Arch. f. klin. Chir., Bd. 152, 1928.
10. Perussia, F. — Contributo allo studio radiologico delle anomalie congenite del rachide. La chirurgia degli organi di movimento, 1926, vol. 10, F. 6.
11. Rössle, F. — Wachstum und Altern, München, J. F. Bergmann, 1923.
12. Рохлин, Д. Г. — Костная система при эндокринных и конституциональных аномалиях, Л. М., — Госмедиздат, 1931
13. Сосновский, Г. П. — а) Отчет об археологической бурят-монгольской экспедиции. Отч. деят. Акад. Наук. СССР за 1929 г., Издат. Акад. Наук СССР, Л., 1930, стр. 153—155.
—— б) Сведения, переданные Г. П. Сосновским лично авторам настоящей работы.
14. Schmorl, G. und Junghanns. — Die gesunde und kranke Wirbelsäule im Röntgenbild, Leipzig, G. Thieme, 1932.
15. Турнер, Г. И. — Болезнь Бека и ахондроплазия. Нов. хир. арх., 1932, т. 27, кн. 3.

Д. Г. Рохлин и А. Е. Рубашева. Уровская или кашин-бековская болезнь в свете рентгено-палеоантропологических данных.

Таблица I.



1 2 3 4



5



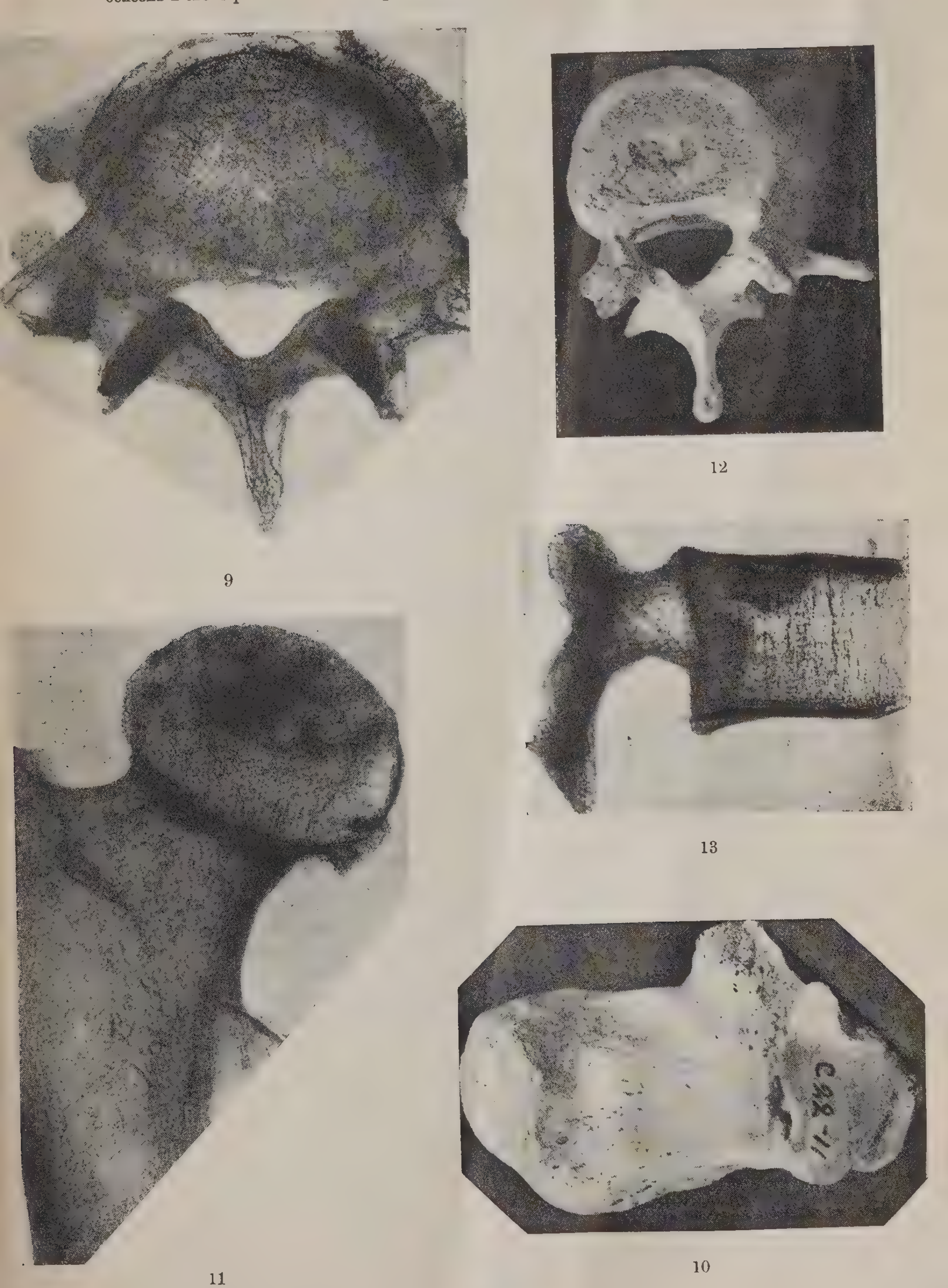
7



6



8



9

12

13

11

10

ОБЪЯСНЕНИЕ К ТАБЛИЦАМ I—III

Таблица I.

Фиг. 1. Плечевая кость. Чрезвычайно резко выраженный остеоартроз. Головка уплощена и обезображена благодаря наличию мощного остеофита, спускающегося книзу. Из раскопок Г. П Сосновского в Селенгинском округе. Бронзовый период (V—IV век до нашей эры).

Фиг. 2. Рентгенограмма той же плечевой кости.

Фиг. 3. Первая плюсневая кость. Остеоартроз головки. Блестящая, как бы отполированная суставная поверхность. Краевой остеофит. Из раскопок Г. П. Сосновского в Троицкосавском районе. Кочевник VIII—X века.

Фиг. 4. Остеоартроз головки локтевой кости (рентгенограмма). Дегенеративные участки в дистальном эпифизе и в частности в шиловидном отростке. Длинный остеофит. Из раскопок Г. П. Сосновского в Троицкосавском районе. Кочевник VIII—X века.

Таблица II.

Фиг. 5. Два поясничных позвонка с резкими проявлениями деформирующего спондилоартроза. Тела позвонков уплощены, края губообразно вытянуты, напоминают клюв попугая. Из раскопок Г. П. Сосновского в Троицкосавском районе. Кочевник VIII—X века.

Фиг. 6. То же самое в иной проекции.

Фиг. 7. Нижние грудные позвонки (рентгенограмма в полубоковой проекции). Отчетливо выраженные явления спондилоза. Тела позвонков слегка уплощены, углы вытянуты. Из раскопок Г. П. Сосновского в Верхнеудинском районе. Бронзовый период (V—IV век до нашей эры).

Фиг. 8. Те же нижние грудные позвонки в рентгеновском изображении в боковой проекции. Хорошо видны губообразные остеофиты.

Таблица III.

Фиг. 9. Пятый поясничный позвонок (рентгенограмма). Пышные краевые остеофиты по вентральной поверхности тела. Из раскопок Г. П. Сосновского в Троицкосавском районе. Кочевник VIII—X века.

Фиг. 10. Пяточная кость. Краевой губообразный остеофит на facies articularis cuboidea. Из раскопок Г. П. Сосновского в Верхнеудинском районе. Кочевник VIII—X века.

Фиг. 11. Проксимальный отдел бедренной кости. (Рентгенограмма). Остеоартроз головки. Головка уплощена. Много дегенеративных участков в виде дефектов окруженных склеротическим костным валом. Губообразный остеофит у нижнего края головки. Из раскопок Г. П. Сосновского в Верхнеудинском районе. Кочевник VIII—X века.

Фиг. 12. Нижний грудной позвонок. На верхней поверхности тела видно углубление в результате прорыва межпозвоночного хряща в губчатое вещество тела Из раскопок Г. П. Сосновского в Верхнеудинском районе. Бронзовый период. (V—IV век до нашей эры).

Фиг. 13. Тот же позвонок в рентгеновском изображении (в боковой проекции). Хорошо прослеживается склеротическая кайма, отграничивающая дефект от нормального губчатого вещества.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1933
BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS
Classe des sciences mathématiques et naturelles
Отделение математических и естественных наук

DAS NEUROCRANIUM UND SEINE EVOLUTION

(Vorläufige Mitteilung)

Von A. HARTMANN-WEINBERG

(*Présenté par* A. Borisjak, *membre de l'Académie*)

Das Problem des Schädels als Ganzes, das zweifellos schon im grauen Altertum die Aufmerksamkeit der Naturforscher auf sich gezogen hat, wurde zuerst von J. W. Goethe (3) im Jahr 1790 in den Vordergrund gestellt. Von Oken (7) 1807 im offenen Auditorium zur Diskussion gestellt, ist das Problem bis heute noch lange nicht gelöst, trotz der vielen ihm gewidmeten Untersuchungen, deren Literatur infolge ihres ausserordentlich grossen Umfangs[1] schon rein äussere Schwierigkeiten einer Bewältigung entgegenstellt. Die letzte Zusammenfassung der Hypothesen und Tatsachen über das Problem des Schädels wurde 1927 von O. Jaekel (4) geliefert; sie zeigt, dass die bis zur gegenwärtigen Zeit ausgeführten Untersuchungen sich auf folgende Fragen erstreckten:

1. Physiologische Rolle des Schädels
2. Metamerie des Schädels
3. Entwicklung des Mundes
4. Der Schädel als Respirationsorgan
5. Der Schädel als Sitz der Sinnesorgane und der Gehirnnerven
6. Der Schädel als Bildungsstätte des Gehirns
7. Endocranium — Primordialcranium
8. Exocranium
9. Geschichte der Schädelmorphogenese
10. Ontogenese des Schädels
11. Rückgängige Entwicklung des Schädels

[1] Das bibliographische Material zu vorliegendem Thema enthält mehr als 400 Aufsätze und Monographien.

Obgleich die eben aufgezählten Themata sowohl für Anatomen und Anthropologen, als auch für Zoologen und Paläontologen in ebendemselben Massд aktuelles Interesse bieten, fehlt doch in diesen Disziplinen eine Koordination der Untersuchungen über das Problem des Schädels als Ganzes fast gänzlich. Es muss auch zugestanden werden, dass die am meisten isolierte Stellung innerhalb dieses Untersuchungskreises der Paläontologie, oder richtiger Paläozoologie der Wirbeltiere gehört. Daraus entspringen Fehler bei der Bestimmung fossiler Formen, die zu falschen Anschauungen in der Systematik und zur Ueberbelastung der Paläosystematik mit irrealen Formen und sogar Formengruppen führen. Je grüdlicher und grosszügiger die Erforschung des fossilen kraniologischen Materials betrieben wird, desto deutlicher tritt die Notwendigkeit einer Revision des anerkannten Systems der Wirbeltiere, vor allem der fossilen, vor Augen. Unter den Fossilien gibt eine Gruppe, die von F. Broili (2) im Jahr 1904 ausserordentlich genau als Stammreptilien — *Cotylosauria* bestimmt wurde, wertvolle Hinweise darauf, welche Fragen des gesamten Schädelproblems gegenwärtig zu stellen sind, wo die Paläozoologie schon über einen bedeutenden Vorrat faktischer Angaben verfügt; die Lösung dieser Fragen wird wesentliche Umgruppierungen in der Paläosystematik nicht nur der niederen Vertebraten, sondern auch der Wirbeltiere überhaupt unmittelbar nach sich ziehen.

Vorliegende vorläufige Mitteilung enthält eine gedrängte Darstellung der Untersuchungsresultate nur in Bezug auf eine einzige Frage des Schädelproblems, deren Lösung ich, im Zusammenhang mit einer Revision der *Cotylosauria* ins Auge gefasst habe, nämlich die Evolution des Gehirnschädels (Neurocranium) in der Reihe der Vertebraten, sowohl der fossilen, als auch rezenten. Bei meinen Untersuchungen habe ich mich nicht an den Grundsatz O. Jackels gehalten, wonach «die Gehirnbildung für die Morphogenie des Kopfes nur wenig bieten kann», sondern bin vom entgegengesetzten Grundsatz ausgegangen, nämlich von der «rationellen Ausnutzung des verfügbaren Raumes durch die Organe», im gegebenen Fall also der Schädelhöhle durch das Gehirn. Im Zusammenhang damit gelangte ich naturgemäss zur Notwendigkeit der Erforschung nachfolgender Themata:

I. Verkürzung der Gehirnschädelbasis
II. Entstehung der chordo-praechordalen Biegung der Gehirnschädelbasis
III. Realisation der Ergrösserung des Gehirnschädels

I. Verkürzung der Gehirnschädelbasis

Das Studium des Gehirnschädels in der Wirbeltierreihe, angefangen mit den *Agnathi* — *Ostracodermi* (*Cyclostomata*) und abschliessend mit *Homo*, zeigt eine progressierende Verkürzung des Chordalteils der Neurocraniumbasis, die von einer systematischen Verkürzung der Oblongata begleitet ist (die längste Oblongata, im Vergleich mit den übrigen Teilen des zentralen Nervensystems, ist bei *Tremataspis schmidti* zu beobachten, die kürzeste bei *Homo*). Rein äusserlich äussert sich die Verkürzung der Basis des Chordalteils des Neurocranium in der progressierenden Annäherung der Austrittstellen des Nn. IX und X, die bei *Saurichthys ornatus* mehr, als 10 mm von einander abstehen (bei einer totalen Gehirnlänge von 50 mm), bei manchen *Stegocephalia*, *Cotylosauria*, *Dinosauria* und, in der Regel, bei den *Mammalia* eine gemeinsame Austrittsöffnung haben. Bei letzteren, speziell bei *Homo*, kommen noch verhältnismässig nicht selten Fälle vor, in denen Nn. IX und X von der Schädelhöhle aus eine doppelte Austrittsöffnung haben, während sie aus dem Foramen jugulare als gemeinsames Bündel austreten. Die evolutionären Veränderungen der Oblongatastructur, die mit der Verkürzung der Oblongata, resp. des Chordalteils der Gehirnschädelbasis im Zusammenhang stehen, lassen wir hier einst weilen unerörtert. Nicht zu umgehen sind aber die in der behandelten Frage ausserordentlich interessanten Tatsachen der Ontogenese des chordalen Teils der Gehirnschädelbasis bei den Säugetieren. Im Jahr 1922 stellte v. d. Bolk (1) bei seinen Untersuchungen über die Wechselbeziehungen zwischen Basalplatte und Chorda dorsalis bei Wirbeltieren 3 Typen der Chordalage fest: 1) suprabasale, 2) intrabasale und 3) subbasale Lage. Bei einer Betrachtung der von Bolk erzielten Resultate vom Gesichtspunkt unseres Themas stellen wir fest, dass der Prozess der Verkürzung der Basis des Chordalteils des Gehirnschädels ontogenetisch verfolgt werden kann. Dabei müssen wir konstatieren, dass die in der Mammalienreihe zu vollständiger Degeneration verurteilte Chorda dorsalis, hinter der sich immer mehr steigernden Verkürzung der Basalplatte zurückbleibend, kraft des Gesetzes der Raumausnützung gezwungen ist, in der Reihe der Säugetiere aus einer horizontal — suprabasalen Lage bei Formen mit verhältnismässig langer Basis des Chordalteils des Gehirnschädels (*Rodentia*) über die konvexe — intrabasale Lage bei einiger Verkürzung der Basis (*Ungulata*) in eine faltige — subbasale Lage bei stark verkürzter Basis (*Homo*) überzugehen.

Die Verkürzung der Basis des chordalen Neurocraniumteils steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Ausbildung der chordo-praechordalen Biegung seiner Basis, die als kompensatorische Erscheinung angesehen werden kann.

II. Entstehung der chordo-praechordalen Biegung der Gehirnschädelbasis

Die Frage über die Achsenkreuzung des Gesicht- und Gehirnschädels ist gewiss nicht neu; sie wurde auf verschiedenen Wegen gelöst, aber wie W. Marinelli (6) in seiner letzten Arbeit über den Schädel des *Ursus spelaeus* aus der Drachenhöhle bei Mixnitz sagt, haben wir noch keine befriedigende Antwort: «obwohl man diese Verhältnisse schon seit langem kennt und auch bei einzelnen Gruppen eingehender untersucht hat, fehlt doch noch immer eine allgemeine Studie über diese Frage und es ist darum noch nicht möglich, eine befriedigende Erklärung dafür abzugeben». Gewöhnlich wird angenommen, dass wir in der phylogenetischen Formenreihe einer Achsenkreuzung zuerst bei den Vögeln begegnen; bei den Säugetieren erreicht sie ihre höchste Ausbildung bei den Antropomorphen und beim Menschen.

Das Studium der chordo-praechordalen Biegung im Zusammenhang mit der Verkürzung des Chordalteils der Gehirnschädelbasis, wie es in der vorliegenden Arbeit geschah, führt zu etwas anderen Schlussfolgerungen. Die Biegung durchläuft bei ihrer Entwicklung vier Stadien, indem sie einerseits mit der Verkürzung der Basis des Chordateils des Gehirnschädels, anderseits mit der progressierenden Entwicklung des Telencephalon und seinem Sich-Draufschieben au die übrigen Teile des Gehirns in engem Zusammenhang steht. In Bezug auf die letzte Erscheinung ist der Zusammenhang sehr bezeichend, der zwischen der Entstehung der Achsenkreuzung des Gesicht-und Gehirnschädels einerseits, und dem Einsinken des Zwischenhirns unter das Telencephalon anderseits bei *Trigla hirundo* (*Teleostomi*) besteht. Es ist anzunehmen dass dasselbe Agens die Bildung der Krümmung bei folgenden Formen hervorgerufen hat: *Macropoma mantelli*, *Undina acutidens*, Amphibien: *Eogyrinus attheyi* (=*Anthracosaurus russelli*), Reptilien: *Placodus gigas*, *Scutosaurus karpinskii*, Flugsauriern und einigen Dinosauriern. Die höchste Ausbildung erreicht die chordo-praechordale Biegung der Gehirnschädelbasis bei *Anthropomorphae* und bei *Homo*, also bei Formen, die das am meisten verkürzte Nachhirn und das am meisten überwuchhernde Telencephalon besitzen. Die Ontogenese bei *Homo* weist darauf hin, dass der Prozess der Biegung — Ausbildung noch nicht abgeschlossen ist: auf frühen Entwicklungsstadien ist der Knickungswinkel

stärker ausgeprägt als auf späteren und als bei erwachsenen Individuen.[1] Bei dem Menschen wird die Hebung des Chordalteils der Schädelbasis noch nachträglich auf Kosten der starken Entwicklung des Sinus sphenoidalis — Myodome der Fische verstärkt, der die dorsale Schicht der Compactae innerhalb der Grenzen der Sella turcica hebt. Ein schlagender Beweis der Abhängigkeit der Hebung des chordalen Neurocraniumteils von seiner Länge resp. der Oblongata besteht in der Grösse des Knickungswinkels bei *Ursus spelaeus, Ursus arctus* und *Ursus maritimus*. Im Zusammenhang mit dem Gesagten muss auf die Unzulänglichkeit der Argumentierung H. F. Osborn's (8) hingewiesen werden, die er in der Monographie: «The Titanothers of ancient Wyoming, Dacota and Nebraska» anlässlich der Achsenkreuzung des Gesicht- und Gehirnschädels bringt.

Die oben angegebenen Entwicklungsstadien der chordo-praechordalen Biegung der Basis des Neurocranium können nach Formen mit möglichst deutlich ausgeprägter Winkelgrösse folgendermassen bezeichnet werden:

I. Stadium — Stadium der Cephalaspidae (Cyclostomata)
II. » » » Crossopterygii
III. » » » Cotylosauriae
IV. » » » Mammaliae

Die Zugehörigkeit zu einer bestimmten systematischen Klasse bestimmt keineswegs die Winkelgrösse der chordo-praechordalen Biegung: sie wird auch nicht bestimmt durch die Verkürzung oder Verlängerung des Gesichtschädels, das Vorhandensein oder Fehlen der Hörner, die Art der Nahrungsaufnahme (vom Boden oder von Bäumen) und ähnliche Momente, die von manchen Forschern zur Erklärung der angegebenen Biegung herangezogen werden.

III. Realisation der Kapazitätsvergrösserung des Gehirnschädels

Wie das untersuchte Material gezeigt hat, wird die Kapazitätsvergrösserung des Schädels, die in engstem Zusammenhang mit der Verkürzung des chordalen Teils der Gehirnschädelbasis und mit der Entstehung ihrer chordo-praechordalen Biegung steht, auf viererlei Weise erreicht:

1) durch Wachstum des Sphenethmoideum in dorsoventraler Richtung— erstes Moment,

2) durch Wachstum des Supraoccipitale in dorsoventraler Richtung (Entwicklung des Tentorium cerebelli osseum) — zweites Moment,

[1] In dieser Hinsicht ist der Pedomorphismus bemerkenswert, der von A. Keith (5) an fossilen Menschen-Schädeln aus Mathjes River Cave in Kapland entdeckt wurde.

3) durch Entwicklung der Konvexität der Knochen der Gehirnschädeldecke — drittes Moment,

4) durch das Sich-Draufschieben des Gehirnschädels auf den Gesichtsschädel — viertes Moment.

Ebenso wie bei der Ausbildung der chordo-praechordalen Biegung der Gehirnschädelbasis, stehen die hier angeführten vier Momente der Kapazitätsvergrösserung des Gehirnschädels in keiner Abhängigkeit von der Zugehörigkeit des Tieres zu einer bestimmten Klasse des Linne'schen Systems. Dort, wo eine Verkürzung des chordalen Teils der Neurocraniumbasis und die Ausbildung einer chordo-praechordalen Biegung zu beobachten ist, dort werden wir ganz zweifellos auch alle vier Momente der Volumvergrösserung des Gehirnschädels finden, was besonders demonstrativ in der phylogenetischen Entwicklung der *Pareiasauridae,* einer paläozoischen Reptiliengruppe aus der Ordnung der *Cotylosauria* hervortritt.

Das hier durchgelegte zusammenfassend, kann gesagt werden, dass in der Evolution des Gehirnschädels drei Grundmomente zu unterscheiden sind, die einander gegenseitig bedingen und durch die progressive Entwicklung des zentralen Nervensystems bedingt sind:

1. Verkürzung des chordalen Teils der Neurocraniumbasis,
2. Entstehung der chordo-praechordalen Biegung der Neurocraniumbasis,
3. Volumvergrösserung des Gehirnschädels durch Wachstum des Sphenethmoideum und des Supraoccipitale in dorsoventraler Richtung, Entwicklung der Konvexität der Knochen der Gehirnschädeldecke und Sich-Draufschieben des Neurocranium auf das Splanchnocranium.

Nur durch Ergründung der Entwicklungsstufe der angegebenen Grundmomente der Gehirnschädelevolution bei den zu untersuchenden fossilen wie auch rezenten Wirbeltierformen können wir die phylogenetische Stellung der letzteren richtig bestimmen und dadurch auch die Grundlagen ihrer Systematik aufklären.

Hier tritt erneut der früher von uns ausgesprochene Grundsatz zutage, dass die Erforschung der Evolution kein Ziel ist, sondern nur eine Methode der Erforschung der organischen Natur.

LITERATUR

1. Bolk, v. d. — Ueber die Beziehung der Chorda zur Basalplatte bei Säugern. Bydragen tat de Dierkunde. Feest Nummer. 1922.
2. Broili, F. Stammreptilien. Anat. Anz., Bd. 25, 1904.
3. Goethe, J. W. Brief an Caroline Herder. Goethe's Werke, Bd. 9, Abt. IV, S. 203. Weimar, Hermann Böhlau, 1891.

4. Jaekel, O. Der Kopf der Wirbeltiere. Ergebn. d. Anatomie u. Entwicklungsgesch., Bd. 27 Abt. III, 1927.
5. Marinelli, W. Der Schädel des Höhlenbären. In O. Abel u. G. Kyrle's. Die Drachenhöhle bei Mixnitz, 1931.
6. Oken. Antrittsvorlesung an der Universität in Jena, 1807.
7. Osborn, H. F. The Titanothers of ancient Wyoming, Dacota a. Nebraska. I. II Vol. U. S. Geolog. Survey Monograph., 55, 1929.
8. Keith Arthur. A Descriptive Account of the human skulls from Mathjes River Cave, Cape Province. Trans. Roy. Soc. South Africa, Vol. XXI, part 2, 1933.

А. ГАРТМАН-ВЕЙНБЕРГ. NEUROCRANIUM И ЕГО ЭВОЛЮЦИЯ

(Предварительное сообщение)

РЕЗЮМЕ

Прооблема черепа в целом, несомненно останавливавшая внимание естествоиспытателя со времен глубокой древности, была впервые выдвинута Гете (J. W. Goethe) в 1790 г. Последняя сводка гипотез и данных по проблеме черепа дана О. Иекелем (O. Yaekel) в 1927 г.

Несмотря на то, что проблема черепа представляет равноактуальный интерес как для анатома и антрополога, так и для зоолога и палеонтолога, почти нацело отсутствует координация исследований по проблеме черепа в целом в названных дисциплинах. Необходимо сознаться и в том, что наиболее обособлена, за малыми исключениями, в своих исследованиях в этом направлении палеозоология позвоночных. Отсюда вытекают ошибки определения ископаемых, ведущие к неправильным систематическим установкам и загромождению палеосистематики нереальными формами. Чем глубже и шире ставится изучение черепного материала ископаемых, тем все очевиднее становится необходимость ревизии существующей систематики позвоночных, в первую очередь ископаемых. Среди последних, одна из групп, чрезвычайно точно определенная Ф. Бройли (F. Broili) в 1904 г. как Stammreptilien — *Cotylosairia*, дает ценные указания к тому, какие вопросы общей проблемы черепа должны быть поставлены в настоящее время, когда палезоология владеет уже весьма значительным запасом фактических данных; решение же этих вопросов непосредственно повлечет за собою крупные перегруппировки в палеосистематике не только низших позвоночных, но и позвоночных в целом.

В настоящем предварительном сообщении сжато изложены результаты исследования лишь по одному из вопросов проблемы черепа, намеченных мною к разрешению в связи с ревизией *Cotylosauria*, а именно — эволюции мозгового черепа — Neurocranium в ряду позвоночных как ископаемых, так и рецентных, причем основу названного исследования определяют следующие темы:

I. Укорочение основания мозгового черепа.

II. Образование хордо-прехордального сгиба основания мозгового черепа.

III. Реализация увеличения емкости мозгового черепа.

I. Укорочение основания мозгового черепа

Изучение мозгового черепа в ряду позвоночных, начиная с *Agnathi*—*Ostracodermi* (*Cyclostomata*) и кончая *Homo*, указывает на все прогрессирующее укорочение хордальной части основания Neurocranium, сопровождающееся систематическим укорочением Oblongata мозга (наиболее длинная, сравнительно с остальными отделами центральной нервной системы, Oblongata наблюдается у *Tremataspis schmidti*, наиболее короткая у *Homo*). Грубо-внешнее укорочение основания хордальной части Neurocranium проявляется прогрессирующим сближением выходов Nn. IX и X, отстоящих друг от друга на расстоянии свыше 10 мм (при общей длине мозга в 50 мм) у *Saurichthys ornatus* и имеющих общий выход у некоторых *Stegocephalia*, *Cotylosauria*, *Dinosauria*, как правило у *Mammalia*. Чрезвычайно интересны в разбираемом вопросе данные онтогенеза хордальной части основания мозгового черепа млекопитающих. Chorda dorsalis, обреченная на полную дегенерацию в ряду *Mammalia*, отставая от все растущего укорочения Basalplatte, в силу закона использования пространства, принуждена переходить в ряду млекопитающих от горизонтального — супрабазального положения у форм с относительно длинным основанием хордальной части мозгового черепа (*Rodentia*), через выпуклое — интрабазальное при некотором укорочении основания (*Ungulata*) к складчатому — субазальному при сильно укороченном основании (*Homo*).

Укорочение основания хордальной части Neurocranium стоит в непосредственной связи с развитием хордо-прехордального сгиба его основания, которое может рассматриваться как компенсаторное явление.

II. Образование хордо-прехордального сгиба основания мозгового черепа

Вопрос перекреста осей лицевого и мозгового черепа, конечно, не нов; решался он разными путями, но, как говорит в своей последней работе о черепе *Ursus spelaeus* из Drachenhöhle bei Mixnitz В. Маринелли, удовлетворительного ответа мы не имеем. Принято считать, что в филогенетическом ряду впервые мы встречаем перекрест осей у птиц; у млекопитающих наивысшего развития он достигает у *Anthropomorphae* и человека. Изучение хордо-прехордального сгиба в связи с прослеживанием укорочения хордальной части основания мозгового черепа, как это имело место в настоящей работе, приводит к несколько иным выводам.

Развитие сгиба проходит 3 стадии, будучи тесно связано, с одной стороны, с укорочением основания хордальной части мозгового черепа, с другой — с прогрессирующим развитием Telencephalon и надвижением его на остальные отделы головного мозга. В отношении последнего явления чрезвычайно показательна связь между образованием перекреста осей лицевого и мозгового черепа и погружением под Telencephalon промежуточного мозга у *Trigla hirundo* (*Teleostomi*). Нужно думать, что тот же агент вызвал образование сгиба у *Macropoma mantelli*, *Undina acutidens*; из амфибий у *Eogyrinus attheyi* (*Anthracosaurus russelli*); из рептилий — у *Placodus gigas*, *Scutosaurus karpinskii*,

у летучих ящеров и некоторых *Dinosauria*. Наивысшего развития хордо-прехордальный сгиб основания мозгового черепа достигает у *Anthropomorphae* и *Homo*, т. е. у форм, имеющих наиболее укороченный, продолговатый мозг и наибольшее надвижение Telencephalon. Онтогенез *Homo* дает указания на то, что процесс образования сгиба еще не закончен: на ранних стадиях угол сгиба сильнее выражен, чем на более поздних и чем у взрослых индивидов.

Принадлежность к тому или иному классу не определяет размеров угла хордо-прехордального сгиба, точно так же, как не определяет его укорочение или удлинение лицевого черепа наличие или отсутствие рогов, способ добывания пищи (грунт или деревья) и т. п. моменты, приводимые некоторыми исследователями в объяснение указанного сгиба.

III. Реализация увеличения емкости мозгового черепа

Как показал изученный материал, увеличение емкости черепа, стоящее в теснейшей связи с укорочением хордальной части основания мозгового черепа и с образованием хордо-прехордального сгиба его, достигается четырьмя путями:

1) ростом в дорзо-вентральном направлении Sphenethmoideum — первый момент;

2) ростом в дорзо-вентральном направлении Supraoccipitale (развитие Tentorium cerebelli osseum) — второй момент;

3) развитием выпуклости костей крыши мозгового черепа — третий момент;

4) надвиганием мозгового черепа на лицевой — четвертый момент.

Точно так же, как при образовании хордо-прехордального сгиба основания мозгового черепа, приведенные здесь 4 момента в развитии увеличения емкости мозгового черепа не стоят в зависимости от принадлежности животного к определенному классу линнеевской системы.

Проведенные исследования позволяют сказать, что в эволюции мозгового черепа различимы 3 основных момента, обусловливающих друг друга и обусловленных прогрессивным развитием центральной нервной системы:

1. Укорочение хордальной части основания.

2. Образование хордо-прехордального сгиба основания.

3. Увеличение емкости мозгового черепа путем роста в дорзо-вентральном направлении Sphenethmoideum и Suproaoccipitale, путем развития выпуклости костей крыши Neurocranium и надвижением последнего на Splanchnocranium.

Лишь выявляя степень развития указанных основных моментов эволюции мозгового черепа в изучаемых как ископаемых, так и рецентных формах позвоночных, мы сможем правильно определять филогенетическое положение последних, а тем самым уяснять основы их систематики.

Здесь лишний раз выявляется высказанное нами ранее положение: изучение эволюции — не цель, а лишь метод познания органического мира.

Оглавление — Sommaire

Заглавие, отмеченное звездочкой, является переводом заглавия оригинала

Le titre marqué d'un astérisque est une traduction du titre original

Цена 3 руб. 50 коп.